RADIAÇÃO IONIZANTE

FUNDAMENTOS E SEGURANÇA NA PRÁTICA CLÍNICA

Organizadores

Dra. Luciana De Armond

Dr. Pedro Paulo Dias Ribeiro

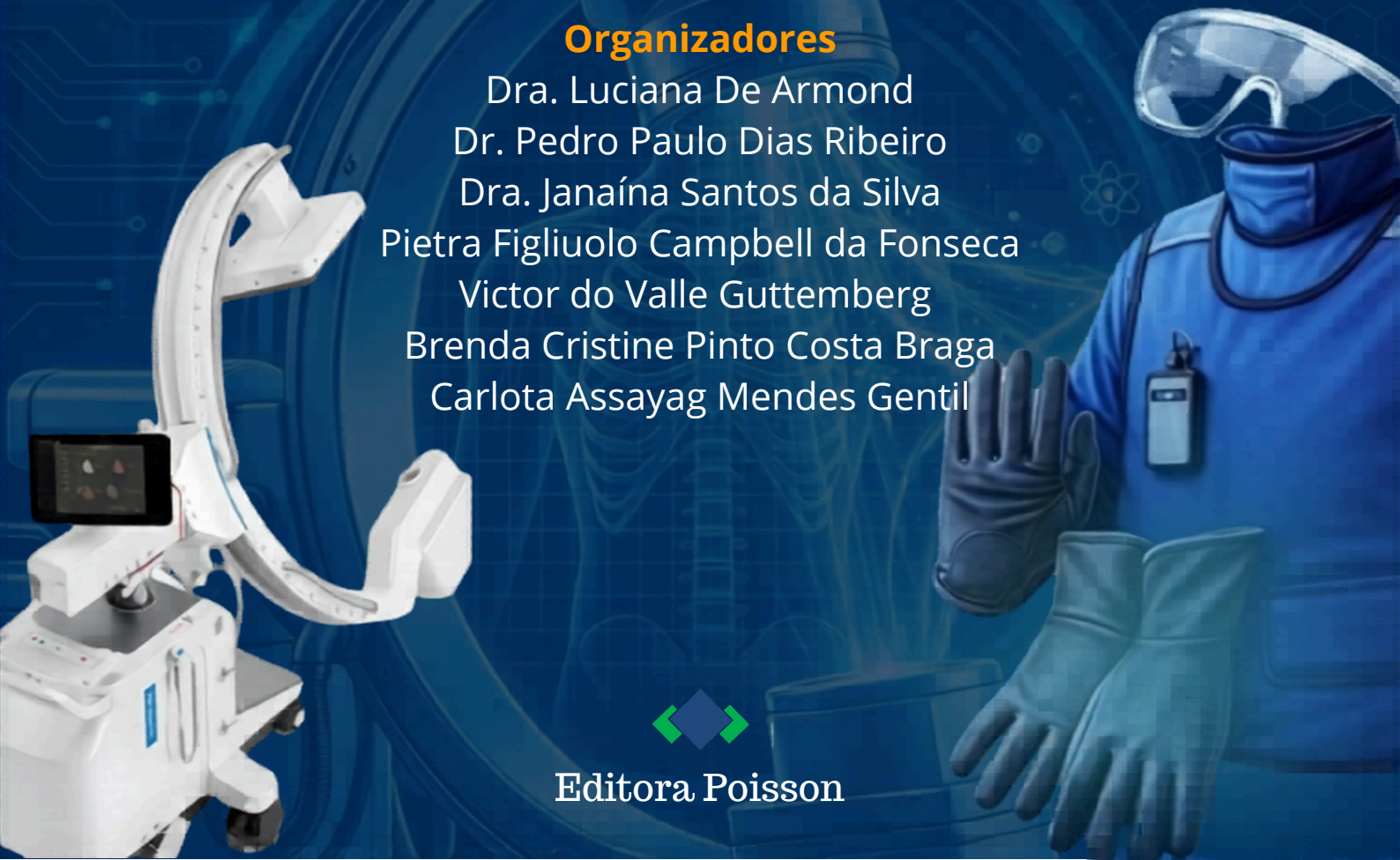
Dra. Janaína Santos da Silva

Pietra Figliuolo Campbell da Fonseca

Victor do Valle Guttemberg

Brenda Cristine Pinto Costa Braga

Carlota Assayag Mendes Gentil



Editora Poisson

Dra. Luciana De Armond
Dr. Pedro Paulo Dias Ribeiro
Dra. Janaína Santos da Silva
Pietra Figliuolo Campbell da Fonseca
Victor do Valle Guttemberg
Brenda Cristine Pinto Costa Braga
Carlota Assayag Mendes Gentil
(organizadores)

GUIA PARA RESIDENTES

Manaus- Am
2026

Editor Chefe: Dr. Darly Fernando Andrade

Conselho Editorial

Dr. Antônio Artur de Souza – Universidade Federal de Minas Gerais
Ms. Davilson Eduardo Andrade
Dra. Elizângela de Jesus Oliveira – Universidade Federal do Amazonas
MSc. Fabiane dos Santos
Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia
Dr. Otaviano Francisco Neves – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC
Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy
Ms. Valdiney Alves de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A385r

Radiação Ionizante – Fundamentos e Segurança na Prática Clínica / Organização: Luciana De Armond, Pedro Paulo Dias Ribeiro, Janaína Santos da Silva, Pietra Figliuolo Campbell da Fonseca, Victor do Valle Guttemberg, Brenda Cristine Pinto Costa Braga, Carlota Assayag Mendes Gentil – Belo Horizonte MG: Editora Poisson, 2026.
54 p.

Formato: PDF
ISBN: 978-65-5866-666-0
DOI: 10.36229/978-65-5866-666-0
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia

1. Saúde 2. Medicina. 1. ARMOND, Luciana De 2. RIBEIRO, Pedro Paulo Dias 3. SILVA, Janaína Santos da 4. FONSECA, Pietra Figliuolo Campbell da 5. GUTTEMBERG, Victor do Valle 6. BRAGA, Brenda Cristine Pinto Costa 7. GENTIL, Carlota Assayag Mendes 8. Título

CDD-610

SÔNIA MÁRCIA SOARES DE MOURA – CRB 6/1896

O conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons 4.0.
Com ela é permitido compartilhar o livro, devendo ser dado o devido crédito, não podendo ser utilizado para fins comerciais e nem ser alterada.

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

Esse e outros títulos podem ser baixados gratuitamente em www.poisson.com.br
Entre em contato pelo contato@poisson.com.br

ORGANIZADORES

DRA. LUCIANA DE ARMOND

Dra. Luciana De Armond é médica formada pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM) em 2007. Concluiu residência médica em Anestesiologia no Hospital Regional da Asa Norte (HRAN), em Brasília-DF, em 2013. Em 2023, obteve o título de Mestre em Cirurgia pela UFAM.
Atua como médica anestesiologista em Manaus, com foco em pesquisa acadêmica e desenvolvimento científico na área médica.

ORGANIZADORES

DR. PEDRO PAULO DIAS RIBEIRO

Possui graduação em Medicina pela Escola de Medicina Souza Marques (2004). Concluiu residência médica em Anestesiologia no Hospital Federal da Lagoa RJ, obtendo o Título de Especialista em Anestesiologia pela Sociedade Brasileira de Anestesiologia (SBA) e pela Associação Médica Brasileira (AMB), bem como
o Título de Especialista em Dor (AMB/SBA).
É especialista em Medicina Aeroespacial pela Universidade da Força Aérea. Mestre em Cirurgia pelo Programa de Pós-Graduação em Cirurgia (PPGRACI) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Em 2024, atuou como Diretor de Ensino e Pesquisa da Fundação Hospital Adriano Jorge, e, desde 2025, é membro titular do Comitê de Ética em Pesquisa da mesma instituição. Professor do Curso de Medicina da Universidade do Estado do Amazonas (UEA), além de membro do Comitê Científico da Escola Superior de Ciências da Saúde.

DRA. JANAÍNA SANTOS DA SILVA

Médica, formada pela Universidade do Estado do Amazonas em 2023. Atuou nos serviços de Urgência e Emergência em hospitais públicos e particulares no estado do Amazonas, incluindo serviço de remoção avançada adulta e pediátrica particulares. Residente do último ano do serviço de Anestesiologia da Fundação Hospital Adriano Jorge.

ORGANIZADORES

PIETRA FIGLIUOLO CAMPBELL DA FONSECA

Graduanda em Medicina pelo Centro Universitário Fametro (2022-2028), 8° período. Foi monitora da disciplina de Bioquímica e integrante da Liga de Bioquímica Médica do Amazonas. Desenvolve pesquisas na área de radiação ionizante por meio de dois ciclos do Programa de Apoio à Iniciação Científica (PAIC) (2024-2026), com foco na elaboração de material instrucional para residentes da Fundação Hospital Adriano Jorge.

VICTOR DO VALLE GUTTEMBERG

Acadêmico de Medicina pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Membro acadêmico do Colégio Brasileiro de Cirurgiões. Autor do livro "O Essencial em Tomossíntese mamária e mamografia com contraste". Atualmente, no âmbito do Programa de Iniciação Científica, desenvolve um projeto na Fundação Hospital
Adriano Jorge (FHAJ), focado no estudo de cirurgias abdominais.

ORGANIZADORES

BRENDA CRISTINE PINTO COSTA BRAGA

Graduada em Odontologia pela Faculdade do Amazonas (2015). Tem experiência na área de Odontologia, com ênfase em Ortodontia e Ortopedia funcional dos maxilares.
Acadêmica de medicina do 8° período da Faculdade Metropolitana de Manaus - Ceuni Fametro (2022-2028).
Atuou como monitora da disciplina de Anatomia Humana e Habilidades Médicas II, com ênfase em síndromes clínicas.
Atualmente, realiza estágio voluntário na Fundação de Medicina Tropical Doutor Heitor Vieira Dourado (FMT-HVD), no setor de Leishmaniose e Doença de Chagas (2025-2026).

CARLOTA ASSAYAG MENDES GENTIL

Bacharel em Direito pela Universidade Federal do Amazonas (2021). Inscrição na Ordem dos Advogados do Brasil, OAB/AM 16.699.
Auxiliar administrativa na clínica Ortopic.
Acadêmica de medicina no 8º período da Faculdade Metropolitana de Manaus - Ceuni Fametro (2022-2028).

PREFÁCIO

Este eBook foi concebido a partir da necessidade de alinhar a formação teórica à prática clínica dos residentes de anestesiologia e ortopedia da Fundação Hospital Adriano Jorge, reconhecendo os desafios inerentes ao processo de formação médica em contextos assistenciais complexos e dinâmicos.

Como etapa inicial, foi realizado um levantamento estruturado por meio de questionário, com o objetivo de identificar lacunas de conhecimento relevantes no cotidiano desses profissionais em formação. A análise dos dados obtidos permitiu direcionar a construção deste material de forma objetiva, priorizando conteúdos essenciais para a prática segura, fundamentada e atualizada.

A proposta deste eBook é oferecer um recurso didático complementar, com abordagem clara e orientada à aplicabilidade clínica, sem a pretensão de substituir referências clássicas, mas de atuar como instrumento de apoio ao desenvolvimento do raciocínio clínico e à tomada de decisão.

Os capítulos foram elaborados com base nas principais dificuldades identificadas, buscando integrar conceitos teóricos à prática assistencial, de modo a contribuir para o fortalecimento da autonomia profissional e para a qualificação do cuidado prestado ao paciente.

A Fundação Hospital Adriano Jorge reafirma, por meio desta iniciativa, seu compromisso com a excelência na formação médica, incentivando a construção contínua do conhecimento e a adoção de práticas baseadas em evidências.

Espera-se que este material contribua de maneira significativa para o aprimoramento técnico-científico dos residentes e para a consolidação de uma assistência cada vez mais segura e de qualidade.

Boa leitura

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 1
Pietra Figliuolo
DOI: 10.36229/978-65-5866-666-0.CAP01

2. FUNDAMENTOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE, TIPOS DE (RADICAÇÃO,UNIDADES DE MEDIDA EM RADIOPROTEÇÃO, PRINCÍPIOS DE PROTEÇÃO RADIOLOGICA, OS TRÊS PILARES DA PROTEÇÃO RADIOLÓGICAS 4
Victor do Valle, Luciana De Armond
DOI: 10.36229/978-65-5866-666-0.CAP02

3. PRINCÍPIOS FUNDAMENTAIS DA RADIOPROTEÇÃO 10
Brenda Cristine Braga, Luciana De Armond
DOI: 10.36229/978-65-5866-666-0.CAP03

4. EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO 13
Carlota Gentil, Luciana De Armond
DOI: 10.36229/978-65-5866-666-0.CAP04

5. MONITORAÇÃO DA EXPOSIÇÃO 17
Pietra Figliuolo, Luciana De Armond
DOI: 10.36229/978-65-5866-666-0.CAP05

6. EFEITOS BIOLÓGICOS DA RADIAÇÃO 21
Pietra Figliuolo, Brenda Cristine Braga, Carlota Gentil
DOI: 10.36229/978-65-5866-666-0.CAP06

7. PRÁTICAS SEGURAS EM FLUOROSCOPIA 26
Janaína Santos da Silva, Luciana De Armond
DOI: 10.36229/978-65-5866-666-0.CAP07

8. PROTEÇÃO DE ÓRGÃOS RADIOSSENSÍVEIS 31
Janaína Santos da Silva
DOI: 10.36229/978-65-5866-666-0.CAP08

9. ANESTESISTA E A RADIAÇÃO IONIZANTE 35
Pedro Paulo Dias Ribeiro
DOI: 10.36229/978-65-5866-666-0.CAP09

10. ORTOPEDISTA E A RADIAÇÃO IONIZANTE 39
Pedro Paulo Dias Ribeiro
DOI: 10.36229/978-65-5866-666-0.CAP10

CAPÍTULO 1 - Introdução

A radiação ionizante é definida como qualquer radiação que possua energia suficiente para ionizar um átomo. Esse fenômeno pode ocorrer mediante a ação de partículas de alta energia (alfa e beta) ou por meio de ondas eletromagnéticas (raios Gama), diferenciando-se das radiações não ionizantes, que são capazes apenas de excitar os átomos (Pino; Giovedi, 2005). Quanto à ionização, esse fenômeno ocorre quando essas ondas transferem energia o suficiente para um elétron, removendo-o do átomo, o que leva ao estado de íon. Esse fenômeno é importante pois, no corpo humano, a radiação ionizante é capaz de realizar dois mecanismos: a ação direta e a ação indireta. A ação direta é o evento no qual a radiação afeta diretamente uma molécula vital do organismo, como o DNA, podendo levar a sua mutação ou morte celular. Já a ação indireta é o mecanismo de interação com moléculas de água (H_2O), ocasionando na formação de radicais livres (OH- e H+) e Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2), que possuem alto potencial de dano celular, indicando a importância de entender os fenômenos decorrentes do uso dessa energia e sua importância para atividades da vida humana (Curtis, 2002).

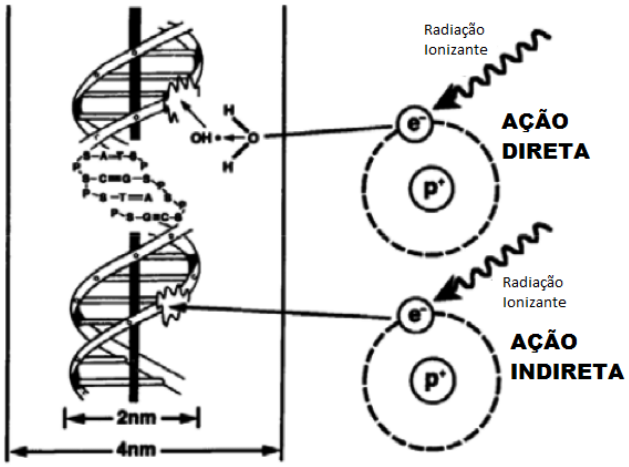


Figura 1: Efeitos diretos e efeitos indiretos da radiação na célula, adaptado de AIAE, 2010.

Outrossim, salienta-se que, além de seus diversos usos em produção energética, na indústria e na agricultura, essa radiação também é muito utilizada na medicina para diversos procedimentos médicos (Zakariya, Kahn, 2014). Dentro da área médica, essa energia é muito utilizada para o fornecimento de imagens (como as radiografias e as tomografias computadorizadas), para tratamentos (como as radioterapias), e também para diversas áreas da medicina, como a Ortopedia, Urologia, Cirurgia Vascular e Ginecologia, pois possuem uma ampla quantidade de procedimentos que derivam desse tipo de radiação, sendo importante o seu conhecimento e manuseio por médicos e estudantes de medicina para o seu correto uso em seus trabalhos e práticas (Sadigh, 2014).

Figura 2: Imagem de Radiografia de Tórax, evidenciando hemotórax. Nota-se que exames de imagem com uso de radiação ionizante são essenciais para o diagnóstico de doenças e entendimento do quadro clínico do paciente. ATLS, 10a Ed.

Entretanto, apesar dos seus benefícios, é valido ressaltar que a longa exposição a esses raios também traz consequências tanto para a equipe médica, quanto para os pacientes expostos. Nesse sentido, Zakariya e Kahn (2014) analisaram, como efeitos colaterais, queimaduras de radiação e câncer induzido. Ainda, segundo os autores, a radiação em gestantes é capaz de causar danos severos no desenvolvimento dos embriões, podendo haver o desenvolvimento de leucemias, retardo mental grave e malformações congênitas. Diante disso, foram criadas diretrizes e medidas voltadas para a proteção dos examinadores e dos pacientes, com o intuito de estabelecer os grupos de risco e amenizar possíveis efeitos colaterais inerentes a esse processo.

Ainda assim, apesar desses esforços, nota-se uma deficiência em informações a respeito da Radiologia em geral por parte de médicos e estudantes da graduação de medicina. Acerca disso, estudos internacionais notaram um baixo desempenho em testes de conhecimentos a respeito de radiologia e exames de imagem, especialmente entre médicos jovens e estudantes, sinalizando a ausência desses conhecimentos ao longo da formação médica (Mellis, Zhang, Mcateer, 2024). Somado a isso, no Brasil, obtiveram-se resultados similares, indicando diversos erros conceituais e falta de noções básicas referentes a esses exames (MEDEIROS et al., 2014). Dessa forma, nota-se um cenário preocupante referente a desinformação sobre essa área, e o despreparo das instituições de ensino em não realizar um preparo profissional adequado para os agentes de saúde, fazendo-se necessário mudanças que instituam cursos de aprimoramento e conhecimento sobre esses assuntos ao longo da graduação e programas de residência, tendo em vista a grande demanda e uso desses exames atualmente.

Diante disso, além de possibilidade de implementações em grades curriculares de estudos de radiologia, uma alternativa para a expansão desse ensino é por meio de e-books. Essas ferramentas virtuais vêm crescendo nos últimos anos, destacando-se pela sua maior flexibilidade de acesso, o que permite amplo acesso a diversas informações e conhecimentos a respeito de temas médicos de forma rápida e fácil (Lima; Pereira; Teixiera, 2024). Ademais, pontua-se que esses livros digitais também possuem grande importância para o fornecimento de materiais com atualizações de diretrizes, mapas conceituais e de linguagens mais acessíveis, servindo de conhecimento teórico-prático essencial na formação médica, com visíveis benefícios para um melhor raciocínio clínico, além de servir como guia de estudos e referências (Nascimento; Souza; Ertler, 2023). Diante disso, nota-se que o uso de ferramentas digitais são

um grande suporte na formação acadêmica, ajudando no aprimoramento profissional, como também no fornecimento de conhecimentos escassos na formação universitária.

DECLARAÇÃO DO AUTOR – USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA
Ferramentas de inteligência artificial generativa (IAG) foram utilizadas exclusivamente como apoio à revisão textual, organização estrutural e padronização da redação deste capítulo, sem substituição da autoria intelectual, da curadoria conceitual ou das decisões técnico-científicas, que permanecem integralmente sob responsabilidade do(s) autor(es).

REFERÊNCIAS

AMERICAN COLLEGE OF SURGEONS. ATLS: Suporte Avançado de Vida no Trauma: manual de curso para alunos. 10. ed. Chicago: American College of Surgeons, 2018.

CURTIS, Bob. Introduction to Ionizing Radiation. Supplement to Lecture Outline V. 10.02. Salt Lake City: OSHA Salt Lake Technical Center, [s.d.].

IAEA (International Atomic Energy Agency). Radiation Biology: A Handbook for Teachers and Students. Vienna: IAEA, 2010.

LIMA, Luis Fernando Queiroz de; PEREIRA, Carlos Alberto Sanches; TEIXEIRA, Renato Silva. E-book interativo como ferramenta para o ensino de doença tromboembólica venosa. Revista Práxis, [s. l.], v. 16, n. 30, 2024.

MEDEIROS, Caroline de et al. Análise do conhecimento sobre radiações ionizantes e qualidade do equipamento de proteção individual em um hospital público. Revista de Ciências Médicas e Biológicas, Salvador, v. 14, n. 2, p. 136-142, maio/ago. 2015.

MELLIS, Shannon; ZHANG, Yuxuan; MCATEER, Dympna. Awareness of radiation risks by medical students & referrers requesting radiological examinations in the North of Scotland: an audit. BMC Medical Education, [s. l.], v. 24, n. 830, 2024. DOI: 10.1186/s12909-024-05461-8.

NASCIMENTO, Eduarda Machado; SOUZA, Jordan Ribeiro dos Santos; ERTLER, Laila Zelkcovicz. E-book sobre emergências clínicas: um projeto direcionado aos internos de Medicina. In: Anais da Semana Científica da Faculdade de Medicina de Campos, v. 2, p. 7, 2023. DOI: 10.29184/anaisscfmc.v22023p7.

PINO, E. S.; GIOVEDI, C. Radiação ionizante e suas aplicações na indústria. Revista UNILUS Ensino e Pesquisa, Santos, v. 2, n. 2, p. 47-52, jan./jun. 2005.

SADIGH, Gelareh et al. Radiation Safety Knowledge and Perceptions among Residents: A Potential Improvement Opportunity for Graduate Medical Education in the United States. Academic Radiology, [s. l.], v. 21, n. 7, p. 869-878, 2014. DOI: 10.1016/j.acra.2014.01.016.

ZAKARIYA, Nasiru Imam; KAHN, M. T. E. Benefits and Biological Effects of Ionizing Radiation. Scholars Academic Journal of Biosciences (SAJB), [s. l.], v. 2, n. 9, p. 583-591, 2014. DOI: 10.36347/sajb.2014.v02i09.005.

CAPÍTULO 2 - Fundamentos da Radiação Ionizante e Princípios de Proteção Radiológica

Existem diferentes tipos de radiação ionizante, divididos, principalmente, em eletromagnéticas e corpusculares. Em detalhes, as radiações eletromagnéticas incluem os raios-X e os raios gama, que são considerados pouco ionizantes por unidade de caminho ("sparsely ionizing"), que são capazes de penetrar profundamente a pele do paciente (Goldman, 1982; Kharisov; Kharissova, 2012). Já as radiações corpusculares, que incluem as partículas alfa, beta e nêutrons. Essas partículas apresentam, entre si, diferenças, visto que as partículas alfas, por exemplo, são núcleos de hélio pesados e altamente ionizantes, mas com baixo poder de penetração, sendo barradas por uma folha de papel, enquanto os nêutrons e partículas beta possuem propriedades de interação maiores que as partículas alfa, conseguindo realizar penetrações maiores (Kharisov; Kharissova, 2012). Ademais, salienta-se que a densidade da ionização ao longo do trajeto da partícula é calculada mediante a Transferência Linear de Energia (LET), constatando-se que radiações de alto LET (como nêutrons e alfa) são biologicamente mais perigosas que as de baixo LET (como os raios-X) para o mesmo valor de dose absorvida por pessoa (Goldman, 1982).

Ademais, para quantificar a radiação e seus efeitos, utilizam-se unidades específicas padronizadas pela Comissão Internacional de Unidades e Medidas de Radiação (ICRU). Dentre elas, a grandeza básica é a Dose Absorvida, que estima a dose de radiação absorvida por unidade de massa de tecido, expressada, atualmente, em Grays (Gy) (Allisy et Al., 1991; Hendee; Edwards, 1986). Entretanto, como existem diferentes tipos de radiação, e cada uma delas com seus determinados efeitos biológicos distintos, introduziu-se o valor da Dose Equivalente, medido em Sieverts (Sv), servindo para analisar e estimar a dose absorvida por um fator de peso da radiação, o que permite somar e integrar exposições de diferentes fontes (como raios-X e nêutrons, que são tipos de radiações ionizantes diferentes) em uma escala comum de risco biológico (Allisy et al., 1991).

Além da dose absorvida e da dose equivalente, utiliza-se a Dose Efetiva (também em Sieverts), que tem o objetivo de estimar o risco total de efeitos estocásticos (como o aumento do risco de aparecimento de neoplasias) em um indivíduo irradiado de forma não uniforme (ou seja, que recebeu diversas doses advindas de diferentes fontes). Junto a isso, a dose efetiva leva em consideração a radiossensibilidade, variável entre os diferentes tecidos e órgãos humanos, ponderando o risco biológico real que cada estrutura corporal possui quando absorvida (Allisy et al., 1991). Em detalhes órgãos e estruturas como as gônadas, a medula óssea, os pulmões e o cristalino dos olhos possuem fatores de peso maiores devido às suas altas radiossensibilidades, apresentando maior chance de danos e impactos em comparação a tecidos como a pele ou superfície óssea (Goldman, 1982; Allisy et al., 1991).

Outro fator muito importante é a respeito da proteção radiológica. Nessa ótica, a segurança radiológica moderna baseia-se nas diretrizes da Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP), que estabelece três pilares fundamentais para o controle da exposição: Justificação, Otimização e Limitação de Dose (DO, 2016). Esses três pilares afirmam sobre princípios e informações referentes a exposição segura, controlada e eficaz da radiação as pessoas, de forma que evite a exposição exagerada às vítimas, e assim atenuando o aparecimento de impactos na saúde tanto dos pacientes, quanto da equipe médica (Moores, 2016).

Somado a isso, outro fator importante referente a prática operacional são os princípios físicos do tempo, distância e blindagem. Esses três fatores, que serão mais abordados no capítulo a seguir, tratam de propriedades da física aplicada a proteção radiológica, sendo fundamentais de serem integradas às diretrizes mencionadas para o aumento da segurança durante procedimentos radiológicos (Strom, 2017; Lakhwani et al., 2018).

Infere-se também a importância do entendimento dos mecanismos a respeito da Radioscopia, equipamento fundamental em cirurgias, que permitem a visualização em tempo real das estruturas que estão sendo manipuladas em determinados procedimentos. No entanto, por utilizar fontes radioativas, deve-se apresentar cuidados para o seu correto uso e a proteção da equipe médica e do paciente com a excessiva exposição radioativa (Oliveira, 2023; Davros, 2007).

Abordando alguns dos princípios físicos acima, quando a equipe médica apresenta uma distância de cerca de 50cm do local do feixe primário, esse valor é o equivalente a 0,1% do valor original do feixe, salientando a importância do fator Distância para o uso de técnicas radiológicas (Figura 1). Enquanto isso, conforme mostrado na imagem 2, em torno da fonte de raios X, forma-se uma circunferência de 2m do Arco C, que é a radiação espalhada durante o procedimento da radioscopia, e, quando fora desse espaço, a radiação recebida pelo profissional é reduzida significativamente, sendo menor que 10uSv (Oliveira et al., 2023). Observa-se, portanto, a importância da configuração e limites dentro do manejo do aparelho de radioscopia, além de sua importância médica e riscos intrínsecos.

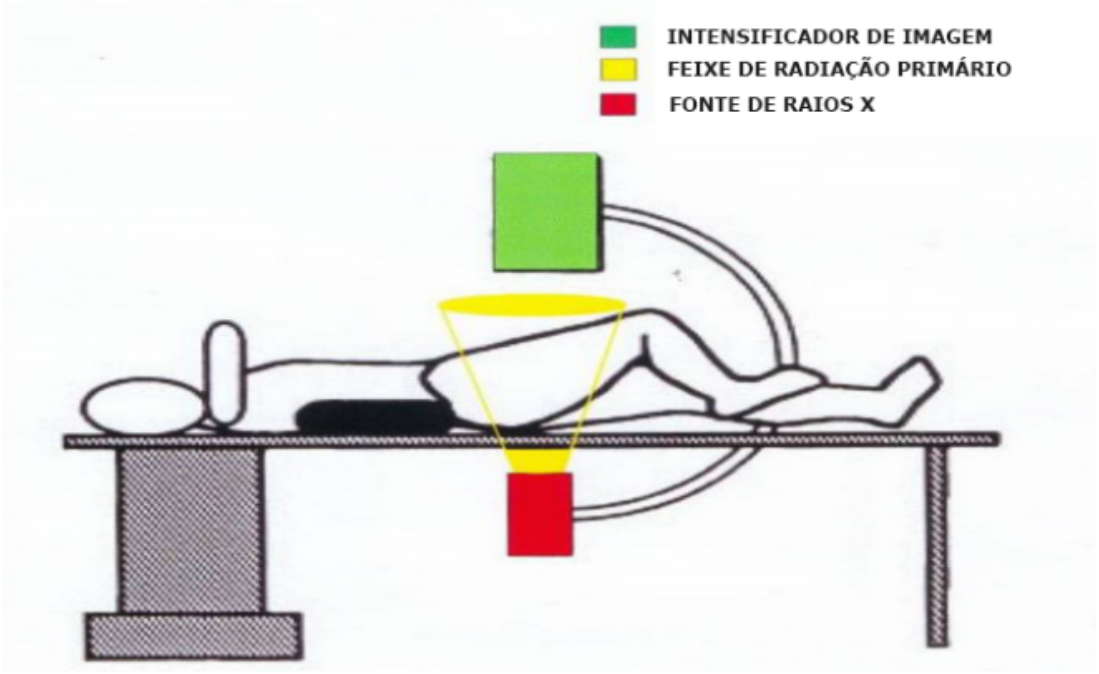


Figura 1 – Ilustração de uma mesa de fluoroscopia com um paciente. Nela, observa-se pela cor vermelha a origem dos raios X, e, de amarelo, o feixe de radiação primário, advindo dessa fonte. Por fim, em verde, o aparelho de intensificação de imagens, útil para a melhora da qualidade de imagem gerada mediante essa técnica. Fonte – Consult Radiometria e Qualidade.

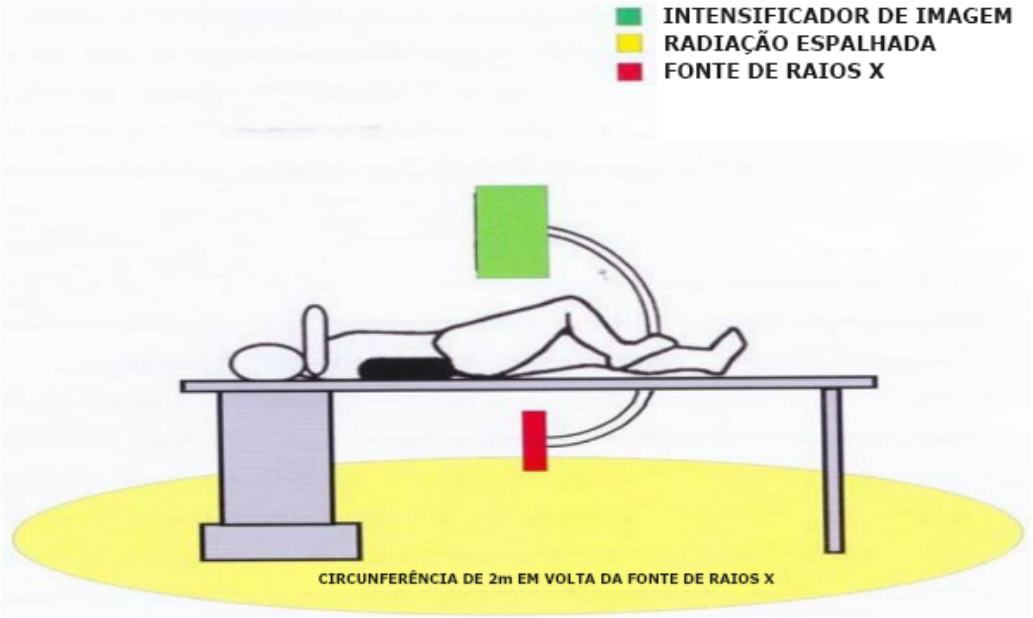


Figura 2 – Ilustração que aborda sobre a radiação espalhada durante o exame, onde esses espalhamentos configuram-se como uma circunferência de 2m em volta da fonte (em vermelho). Quando fora dessa distância, os valores de exposição reduzem drasticamente. Fonte - Consult Radiometria e Qualidade.

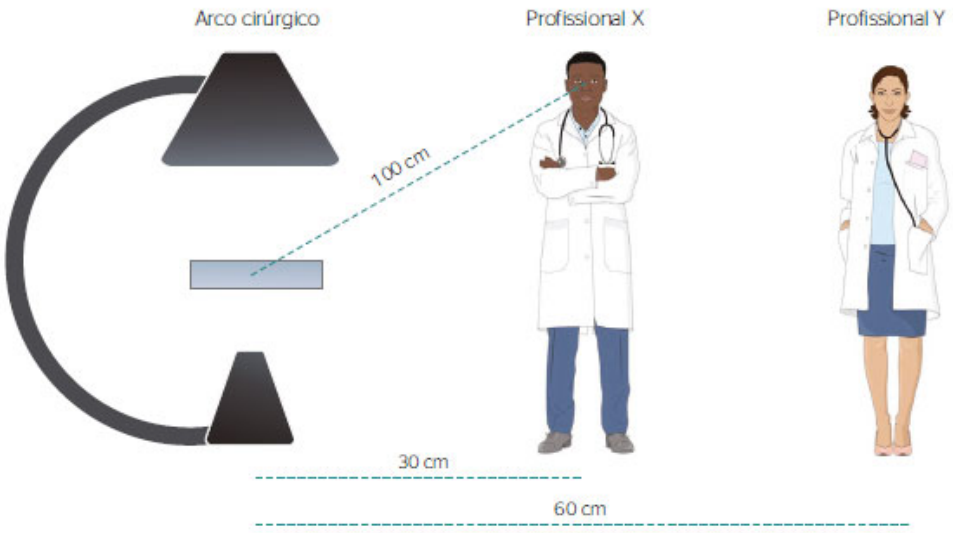


Figura 3 – Exemplificação da disposição da equipe médica durante a Fluoroscopia. Nela, o médico principal está mais próximo da fonte espalhadora, a 30 centímetros de distância. Enquanto o médico auxiliar, que serve como apoio durante o procedimento em discussão, está a 60 centímetros dessa fonte. Essa disposição é fundamental para os médicos auxiliares proporcionarem apoio durante a realização das imagens para a correta visualização do médico principal, servindo de ajuda para a conduta no momento do procedimento. Fonte - Revista Brasileira de Medicina do Trabalho.

Em suma, infere-se que a proteção radiológica envolve um manejo multidisciplinar, unindo a física das interações da radiação com a biologia dos riscos celulares. Por fim, é observado que a soma entre a aplicação rigorosa dos princípios de Justificação e Otimização (ALARA), medidas de forma correta pelas unidades supraditas, e os princípios físico de tempo, distância e blindagem, é fundamental para a garantia do uso seguro da radiação ionizante na área médica, prevenindo impactos negativos e proporcionando saúde e bem-estar a todos (Omoruyi; Oyem; Odagwe, 2023).

PONTOS CHAVES:

- Entender os principais tipos de radiação ionizantes que são as eletromagnéticas (Raio-X e ondas gamas) e corpusculares (Alfa, Beta e Nêutrons);
- Compreender o conceito de Transferência Linear de Energia (LET) e sua importância para saber a densidade de ionização;
- Saber as unidades de medida principais na estimativa de doses: Dose Absorvida (Gy); Dose Equivalente (Sv); Dose Efetiva (Sv);
- Compreender sobre os pilares da proteção do ICRP: Justificação, Otimização e Limitação da Dose;
- Explicar a importância do uso da fluoroscopia, mas entendendo também seus riscos inerentes;
- Compreender os aspectos físicos importantes durante as práticas operacionais em aparelhos radiológicos: Tempo, Distância e Blindagem.

DECLARAÇÃO DO AUTOR – USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA
Ferramentas de inteligência artificial generativa (IAG) foram utilizadas exclusivamente como apoio à revisão textual, organização estrutural e padronização da redação deste capítulo, sem substituição da autoria intelectual, da curadoria conceitual ou das decisões técnico-científicas, que permanecem integralmente sob responsabilidade do(s) autor(es).

REFERÊNCIAS

ALLISY, A. et al. Quantities and Units for Use in Radiation Protection: A Draft Report. ICRU News, p. 5-9, Dec. 1991.

DAVROS, W. J. Fluoroscopy: basic science, optimal use, and patient/operator protection. Techniques in Regional Anesthesia and Pain Management, v. 11, n. 2, p. 44-54, 2007.

DO, K.-H. General Principles of Radiation Protection in Fields of Diagnostic Medical Exposure. Journal of Korean Medical Science, v. 31, p. S6-S9, 2016.

FARZANEGAN, Z. et al. Evaluating the principles of radiation protection in diagnostic radiologic examinations: collimation, exposure factors and use of protective equipment for the patients and their companions. Journal of Medical Radiation Sciences, v. 67, n. 2, 2020.

GOLDMAN, M. Ionizing Radiation and Its Risks. The Western Journal of Medicine, v. 137, n. 6, p. 540-544, 1982.

HENDEE, W. R.; EDWARDS, F. M. ALARA and an Integrated Approach to Radiation Protection. Seminars in Ultrasound, CT, and MR, v. 7, n. 4, p. 331-333, 1986.

KHARISOV, B. I.; KHARISSOVA, O. V. Main Ionizing Radiation Types and Their Interaction with Matter. In: Radiation Synthesis of Materials and Compounds. CRC Press, 2012. Cap. 1.

LAKHWANI, O. P. et al. Radiation protection and standardization. Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma, v. 10, n. 4, p. 738-743, 2018.

MOORES, B. M. A Review of the Fundamental Principles of Radiation Protection when Applied to the Patient in Diagnostic Radiology. Radiation Protection Dosimetry, p. 1-9, 2016.

OLIVEIRA, M. L. et al. Avaliação da exposição à radiação ionizante em equipe multidisciplinar devido ao uso de equipamentos de fluoroscopia no centro cirúrgico. Revista Brasileira de Medicina do Trabalho, v. 21, n. 2, e2023924, 2023.

OMORUYI, C. I.; OYEM, I. M.; ODAGWE, A. A. Ionizing Radiations and Cancers. African Journal of Health, Safety and Environment, v. 4, n. 1, p. 132-140, 2023.

PROTEÇÃO radiológica em equipamentos Arco C. Consult.med.br, [s. l.], 2024. Disponível em: http://consult.med.br/posts/?dt=protecao-radiologica-em-equipamentos-arco-c-NS9kS1lkbXlWaG5mTEJGNmlUZnhUdz09. Acesso em: 18 fev. 2026.

STROM, D. J. Ten Principles and Ten Commandments of Radiation Protection. Health Physics, v. 112, n. 1, p. 1-20, 2017.

CAPÍTULO 3 - Princípios Fundamentais da Radioproteção

Na prática médica, é essencial haver, em procedimentos que envolvam exames que utilizem radiação ionizante, a radioproteção, com o intuito de garantir a integridade física tanto dos pacientes quanto dos profissionais de saúde. Dentro disso, as principais bases normativas que guiam e estabelecem as diretrizes a respeito do manejo e uso correto de técnicas radiológicas são a Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP) e a Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA), fornecendo estratégias de segurança para atenuar os riscos inerentes ao uso da radiação ionizante (Pereira et al., 2013). Ademais, no Brasil, essas regulamentações são enfatizadas pelas diretrizes da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), e, mais especificamente, mediante a CNEN-NN-3.01, norma que formalizou os 3 pilares a respeito da radioproteção, sendo eles a Justificação, a Otimização e a Limitação de dose (Haramita, 2011). Dessa forma, salienta-se os esforços envolvidas na criação e padronização de regulamentações envolvendo os princípios da exposição a radiação para fins médicos, com o intuito de reduzir danos a população, protegendo sua saúde.

Outrossim, abordando a respeito desses princípios, inicia-se pela Justificação. Nessa parte, é preconizado que a radiação não deva ser utilizada, a menos que possua uma indicação significativa para o seu uso, sobressaindo-se aos efeitos colaterais de sua exposição (Haramita, 2011). Portanto, no âmbito medicinal, o exame solicitado deve apresentar uma justificativa evidente para que seja feito, geralmente associado a eficácia diagnóstica, visto que exames de imagem, em geral, são uma das principais ferramentas para definição de diagnósticos do paciente a partir de seu quadro. Ademais, convém destacar que a realização desses exames de forma inadequada ou não justificada podem conduzir a um diagnóstico incorreto, prejudicando o prognóstico do paciente (Moores, 2016). Somado a isso, pondera-se que a responsabilidade pela execução do exame é compartilhada, logo é associado ao médico solicitante e aos profissionais de radiologia (tanto o radiologista, quanto o técnico), indicando que qualquer conduta inadequada irá afetar diversos profissionais (Silva et al., 2022). Diante disso, fica evidente a importância da perícia médica para a correta solicitação de tais exames, bem como a técnica correta para conduzir esses exames, a fim de garantir o bem-estar da equipe de saúde e dos pacientes.

Por fim, é explicado sobre o princípio da Limitação de dose, que é responsável por definir os valores máximos de exposição à radiação, não se podendo ultrapassar, com o intuito de atenuar possíveis riscos e efeitos estocásticos (danos que tem probabilidade de ocorrência mediante a maior exposição a radiação ionizante), devendo haver a limitação a níveis aceitáveis (Haramita, 2011). Dessa forma, para Indivíduos Ocupacionalmente Expostos (IOE), como médicos e técnicos que atuam nesses procedimentos, o limite de dose efetiva é de 20mSv anuais, sendo esse valor calculado com uma média de um período de 5 anos consecutivos, não podendo exceder 50mSv em um único ano. Enquanto para o público geral, essa média anula é limitada

a 1mSv por ano. Contudo, salienta-se que, ainda que o paciente ultrapasse esses valores, o médico não pode realizar uma limitação que prejudique o diagnóstico do paciente, interferindo em todo o controle e conduta do paciente. Além disso, outro cuidado especial é em relação a pacientes com exames recorrentes (recurrent imaging), visto que pacientes com doenças crônicas podem apresentar um acúmulo de radiação maior que 100mSv em curtos períodos, o que torna importante um maior cuidado e controle das solicitações de exames, com o intuito de evitar danos acumulativos (Brower; Rehani, 2021).

Diante disso, na prática diária, o uso e manejo desses princípios dependem de três fatores de risco: distância, tempo e blindagem.

- A Distância: é a medida de proteção de menor custo e mais eficaz, visto que o valor dá à lei do inverso do quadrado da distância, na qual, ao duplicar o valor da distância, o valor da exposição é reduzido a um quarto do valor original, sendo extremamente importante para cirurgiões e salas de procedimentos radiológicos, visto que o aumento da distância das fontes de radiação pode reduzir a sua contaminação (Santos, 2013).
- Tempo: ele deve ser o menor possível, sem que aconteça o comprometimento da operação, como na fluoroscopia, que o uso das imagens congeladas (last image hold) são importantes para o controle da dose.
- Blindagem: envolve o uso de barreiras físicas no recinto (paredes baritadas e vidros plumbíferos, por exemplo) e de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), como aventais de chumbo e de óculos plumbíferos, essenciais para a manutenção da exposição corporal contra doses radioativas, especialmente em toda a equipe, pois, quando a radiação atinge um material físico, ela se dispersa, podendo afetar toda a equipe médica, tornando, assim o uso desses materiais em todos os servidores de saúde durante a operação (Silva et al., 2022).

Destarte, a segurança do ambiente exige diversos cuidados, como a monitorização constante, sinalização dos equipamentos e estudo e informação avançada sobre o local de serviços. Nesse contexto, áreas controladas e supervisionadas devem apresentar sinalização luminosa (geralmente, uma luz vermelha acima das portas das salas, indicando o disparo de feixes de radiação ionizante), além de avisos e alertas sobre o risco de exposição radioativa e restrição de acesso (Silva et al., 2022). Somado a isso, o uso de dosímetro é obrigatório para todos, sendo colocado ao nível do tórax, abaixo do avental de chumbo (exceto em casos especiais como a análise de extremidades), garantindo o registro e controle das doses de exposição dos pacientes, com o intuito de comparar e delimitar aos limites legais (Haramita, 2011). Por fim, a RDC n° 330 da ANVISA postula a necessidade de controles de qualidade e de informação, assegurando o correto funcionamento dos equipamentos, e correta instrução dos profissionais de saúde.

PONTOS CHAVES:

- Saber as principais bases normativas da radioproteção;
- Os 3 princípios da radioproteção;
- Saber os fatores de risco da exposição a radiação;
- A importância do uso dos EPIs em toda a equipe de saúde;
- Saber os valores limites de exposição para o paciente e para a equipe médica.

DECLARAÇÃO DO AUTOR – USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA
Ferramentas de inteligência artificial generativa (IAG) foram utilizadas exclusivamente como apoio à revisão textual, organização estrutural e padronização da redação deste capítulo, sem substituição da autoria intelectual, da curadoria conceitual ou das decisões técnico-científicas, que permanecem integralmente sob responsabilidade do(s) autor(es).

REFERÊNCIAS

BROWER, Charles; REHANI, Madan M. Radiation risk issues in recurrent imaging. British Journal of Radiology, [s. l.], v. 94, n. 1124, 20210389, out. 2021.

HARAMITA, Tamara. Aplicação dos princípios de radioproteção em Medicina Nuclear.2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Física Médica) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

MOORES, B. Michael. A review of the fundamental principles of radiation protection when applied to the patient in diagnostic radiology. Radiation Protection Dosimetry, [s. l.], v. 172, n. 1-3, p. 66-72, dez. 2016.

PEREIRA, Wagner de S. et al. Adequação das normas brasileiras de radioproteção aos princípios fundamentais de segurança da International Atomic Energy Agency. In: IX LATIN AMERICAN IRPA REGIONAL CONGRESS ON RADIATION PROTECTION AND SAFETY, 2013, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro: SBPR, 2013.

SANTOS, Manuel Rubim. Considerações gerais de radioproteção. In: SANTOS, Manuel Rubim (ed.). Radioproteção e Segurança em Radiologia Diagnóstica e Intervencionista. [S. l.: s. n.], [20--]. cap. 1.4.

SILVA, João Vitor dos Santos et al. A radioproteção em instalações de radiologia médica. RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar, [s. l.], v. 3, n. 4, p. e341282, abr. 2022.

CAPÍTULO 4 – Equipamentos de Proteção

A implementação eficaz da proteção radiológica em ambientes médicos depende intrinsecamente da interação das barreiras físicas entre a fonte de radiação e o indivíduo, fundamentando-se nos princípios de justificação, otimização e limitação de dose, mencionados no capítulo anterior. Para mitigar os riscos dos efeitos estocásticos (danos a partir da quantidade utilizada de radiação) e determinísticos (danos causados por doses elevadas de radiação) da radiação ionizante, são utilizados equipamentos que atuam atenuando a energia radioativa, reduzindo drasticamente a dose absorvida pelos tecidos biológicos. Nesse contexto, a literatura destaca a importância das Vestimentas de Proteção Radiológica (VPR), que engloba os Equipamentos de Proteção Individual (EPI) e utensílios para a proteção do tronco e do corpo inteiro, sendo eles confeccionadas com materiais de alto número atômico (geralmente chumbo ou compostos equivalentes), com potencial de bloquear a passagem de raios X (Soares; Pereira; Flor, 2011). Ademais, a eficácia dessas barreiras é comprovada pois, de acordo com a literatura, uma camada de 0,25 mm de espessura de chumbo pode reduzir a dose de radiação espalhada em mais de 90%, enquanto espessuras de 0,50 mm podem oferecer atenuação superior a 99% em faixas de energia típicas da radiologia diagnóstica (Soares; Pereira; Flor, 2011).

Outrossim, em relação à proteção dos profissionais que apresentam exposição ocupacional, os aventais plumbíferos e os protetores de tireoide são itens indispensáveis, especialmente em procedimentos de fluoroscopia e radiologia intervencionista onde a exposição é prolongada. Somado a isso, o uso de proteção a glândula supradita pode reduzir a taxa de exposição a radiação em, aproximadamente, 67%, sendo crucial dada a radioproteção do órgão (Soares; Pereira; Flor, 2011). Junto a isso, salienta-se que, com o tempo, diversos novos equipamentos e materiais foram desenvolvidos, apresentação uma composição mais leve (livre de chumbo ou com misturas de bário, tungstênio e antimônio), mantendo o percentual de radioproteção, porém com redução do peso em até 30%, o que mitiga problemas ergonômicos e dores lombares frequentemente relatados por intervencionistas que utilizam essas vestimentas por longos períodos (Schueler, 2010).

Em especial, a proteção ocular merece destaque, pois o cristalino, estrutura presente no globo ocular humano, é uma das partes mais sensíveis a radiação do corpo, apresentando riscos elevados de catarata induzida por radiação, mesmo em doses menores. Diante disso, para a proteção efetiva, óculos plumbíferos são essenciais, porém dependem de sua geometria e formato para efetiva proteção (Koukorava et al., 2014). Em resumo, óculos que apenas possuem lentes frontais são insuficientes, visto que a radiação espalhada pode atingir os olhos pelas laterais ou por baixo da armação, diferente de óculos com design "wrap-around" (envolvente) e com o mínimo de espaçamento entre o rosto e a lente oferecem a maior proteção comparado aos demais, demonstrando sua maior efetividade (Schueler, 2010).

Além da proteção individual, os Equipamentos de Proteção Coletiva (EPC) e as blindagens estruturais são essenciais para a redução da dose de radiação local e para a proteção de toda a equipe nas salas de procedimentos. A exemplo, em salas de radiologia intervencionista e hemodinâmica, é importante apresentar visores de vidro e cortinas plumbíferas, com o intuito de atenuar a disseminação radioativa no local. Em especial, adiciona-se que as cortinas de mesa são bastante eficazes na proteção dos membros inferiores dos médicos, uma vez que essa região recebe altas doses de radiação espalhada, proveniente do paciente, reduzindo a exposição da radiação nos agentes de saúde (Schueler, 2010; Soares; Pereira; Flor, 2011). Diante disso, salienta-se que a presença de materiais adequados, juntos ao seu correto uso, possuem forte potencial de proteção contra a exposição radiológica desnecessária, mantendo um ambiente seguro.

Figura 1: Equipamentos listados acima sobre proteção individual no contexto de radioproteção. Fonte-MAVIG.

Entretanto, observa-se que, atualmente, diversos hospitais possuem uma forte carência de conhecimento e informações sobre uso e manejo desses equipamentos de proteção, corroborando com a maior exposição e perigo tanto ao paciente quanto a equipe. Com base nisso, diversas pesquisas e artigos revelaram que muitos profissionais não possuem conhecimento sobre as normas de radioproteção, além de que os próprios ambientes de trabalho não possuem equipamento adequado à equipe médica em número suficiente ou em condições adequadas para uso. (Batista et al., 2019; Huhn et al., 2016). Isso representa um péssimo cenário, corroborando com exposições excessivas de radiação e potenciais efeitos colaterais a todos presentes no ambiente, devendo haver intervenções referente a melhor informação das condutas médicas e controle de qualidade dos equipamentos e materiais do local.

Destarte, sintetiza-se que a radioproteção eficaz é um sistema integrado dependente de diversos fatores, como a qualidade e disponibilidade dos equipamentos de proteção individual e coletiva, do monitoramento constante e, fundamentalmente, do fator humano, representado pela informatividade e manejo dos procedimentos e instrumentos de trabalho. Salienta-se que o uso de blindagens como aventais, óculos e barreiras móveis são os principais artefatos responsáveis pela defesa física contra os impactos da radiação ionizante, capaz de reduzir a exposição a níveis seguros quando utilizados corretamente (Gomes; Pinhal Júnior, 2015). , afirma-se a importância desses equipamentos para a proteção dos agentes de saúde e dos pacientes, somado ao seu correto uso, devendo haver maior implementação de diretrizes sobre boas condutas e controle da integridade dos equipamentos de proteção para a correção desses desvios e problemas na saúde.

PONTOS CHAVES:

- **Uso de barreiras físicas:** A utilização de barreiras físicas é altamente eficiente na radioproteção, com o uso de vestimentas com 0,25 mm de chumbo podem reduzir a dose de radiação espalhada em mais de 90%, enquanto espessuras de 0,50 mm chegam a atenuar mais de 99% em faixas de energia diagnóstica.
- **Proteção da Tireoide:** Em procedimentos prolongados, o protetor de tireoide é indispensável, pois é capaz de reduzir a exposição desta glândula radiossensível em aproximadamente 67%, impedindo disfunções e doenças nesse órgão vital;
- **Proteção Ocular:** O uso de óculos plumbíferos com design "wrap-around" (envolvente) é fundamental para o bloqueio a radiação espalhada que atinge os olhos lateralmente e por baixo, o que é crucial para prevenir a catarata e outras doenças oculares
- **Proteção de Membros Inferiores:** Em salas de procedimentos que utilizam a radiação, o uso de cortinas plumbíferas acopladas à mesa é essencial para atenuar a radiação espalhada proveniente do paciente, protegendo os membros inferiores, que geralmente são mais desprotegidos e mais expostos a radiação.

DECLARAÇÃO DO AUTOR – USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA
Ferramentas de inteligência artificial generativa (IAG) foram utilizadas exclusivamente como apoio à revisão textual, organização estrutural e padronização da redação deste capítulo, sem substituição da autoria intelectual, da curadoria conceitual ou das decisões técnico-científicas, que permanecem integralmente sob responsabilidade do(s) autor(es).

REFERÊNCIAS

BATISTA, Vinícius Martins Dias et al. Proteção radiológica na perspectiva dos profissionais de saúde expostos à radiação. Revista Brasileira de Enfermagem, v. 72, supl. 1, p. 9-16, 2019.

GLASGOW, Glenn P. Radiation Protection Instrumentation. In: WEBSTER, John G. (Ed.). Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 2006. p. 500-520.

GOMES, Nathaly Andrade; PINHAL JÚNIOR, Paulo. A proteção radiológica dos trabalhadores expostos à radiação ionizante. In: IX Mostra de Trabalhos Acadêmicos e III Jornada de Iniciação Científica UNILUS. Santos: Centro Universitário Lusíada, 2015.

HUHN, Andréa et al. Proteção radiológica: da legislação à prática de um serviço. Enfermagem em Foco, v. 7, n. 2, p. 27-31, 2016.

KOUKORAVA, C. et al. Efficiency of radiation protection equipment in interventional radiology: a systematic Monte Carlo study of eye lens and whole body doses. Journal of Radiological Protection, v. 34, p. 509-528, 2014.

MAVIG. X-Ray Protective Clothing and Accessories – Protection for Medical Personnel, Patients and Eye Protection. MAVIG. Disponível em: https://mavig.com/products/x-ray-protection/. Acesso em: 02 mar. 2026.

PLOUSSI, Agapi; EFSTATHOPOULOS, Efstathios P. Importance of establishing radiation protection culture in Radiology Department. World Journal of Radiology, v. 8, n. 2, p. 142-147, 2016.

SCHUELER, Beth A. Operator Shielding: How and Why. Techniques in Vascular and Interventional Radiology, v. 13, p. 167-171, 2010.

SOARES, Flávio Augusto Penna; PEREIRA, Aline Garcia; FLOR, Rita de Cássia. Utilização de vestimentas de proteção radiológica para redução de dose absorvida: uma revisão integrativa da literatura. Radiologia Brasileira, v. 44, n. 2, p. 97-103, 2011.

CAPÍTULO 5 - Monitoração

A monitoração da exposição à radiação ionizante, na prática médica, é um manejo complexo, exigindo a quantificação rigorosa da energia depositada nos tecidos, que é fundamental tanto para a segurança ocupacional, quanto para a eficácia terapêutica. Ademais, a dosimetria clínica baseia-se na conversão da interação da radiação com a matéria em sinais mensuráveis, utilizando grandezas como a dose absorvida (Gy) e a dose equivalente (Sv). O aspecto de quantificação da dosimetria evoluiu de métodos analógicos para dispositivos altamente sensíveis e com sistemas digitais integrados. Atualmente, a dosimetria ativa ganha destaque frente à passiva, permitindo que médicos intervencionistas e radiologistas tenham acesso imediato às taxas de radiação, possibilitando a interrupção ou modificação de procedimentos em tempo real caso os limites de segurança sejam ameaçados (Batista, 2021; Ahmad et al., 2021).

De início, explicita-se sobre os tipos de dispositivos de dosimetria dividem-se em passivos e ativos, distinguindo-se pela capacidade de fornecer dados em tempo real e a robustez do registro histórico. Nesse contexto, os dosímetros passivos, como os dosímetros termoluminescentes (TLD) e os dosímetros baseados em luminescência estimulada opticamente (OSL), acumulam a energia da radiação incidente sem a necessidade de alimentação elétrica durante a exposição, sendo o padrão para o registro oficial da dose devido à sua estabilidade e, no caso dos OSLs, à possibilidade de múltiplas leituras sem perda do sinal original (Batista, 2021). Por outro lado, os dosímetros ativos (eletrônicos) oferecem a vantagem crítica da leitura imediata da taxa de dose e da dose acumulada, permitindo que os profissionais recebam alertas instantâneos sobre níveis perigosos de radiação e ajustem seus comportamentos ou posições durante procedimentos médicos complexos para mitigar riscos (Ahmad et al., 2021). Somado a eles, a inovação tecnológica alia a esses sensores o uso de redes de Internet, o que transforma o sistema de dosimetria em uma rede integrada e remota, transformando a proteção radiológica em um sistema de monitoramento contínuo e proativo, embora a dosimetria passiva permaneça indispensável para a conformidade regulatória a longo prazo (Aboelezz; Pogue, 2023).

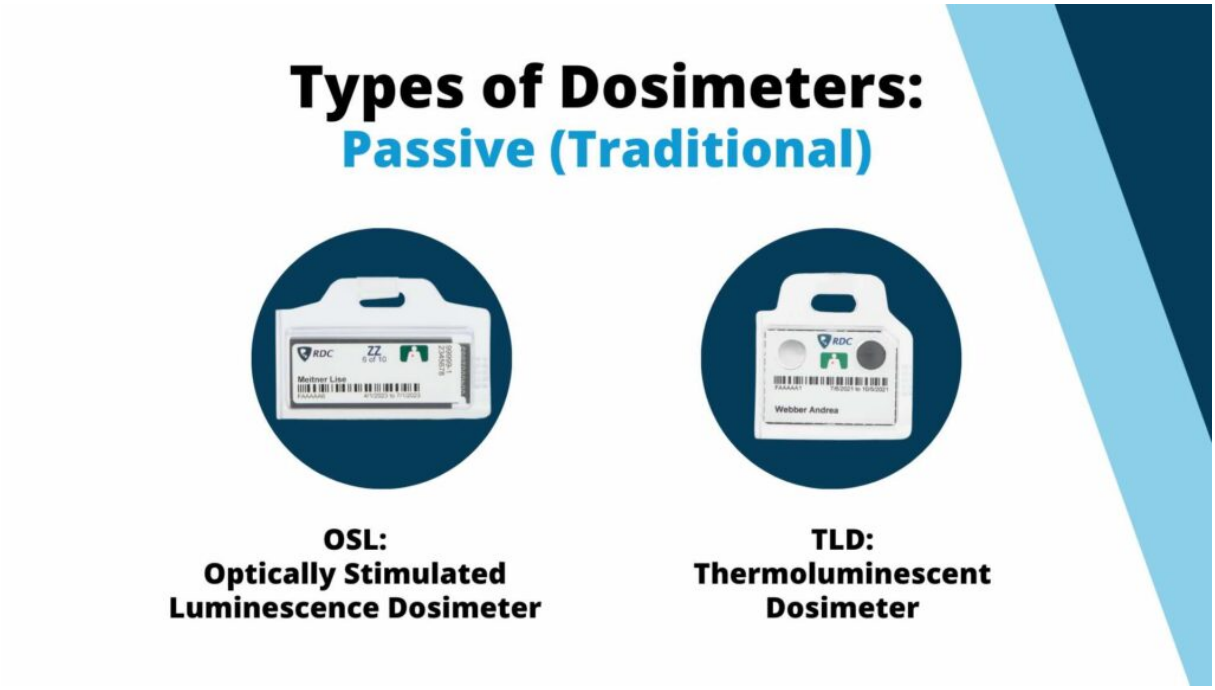


Figura 1- dosímetros passivos OSL e TLD. Fonte: Radiation Detection Co.

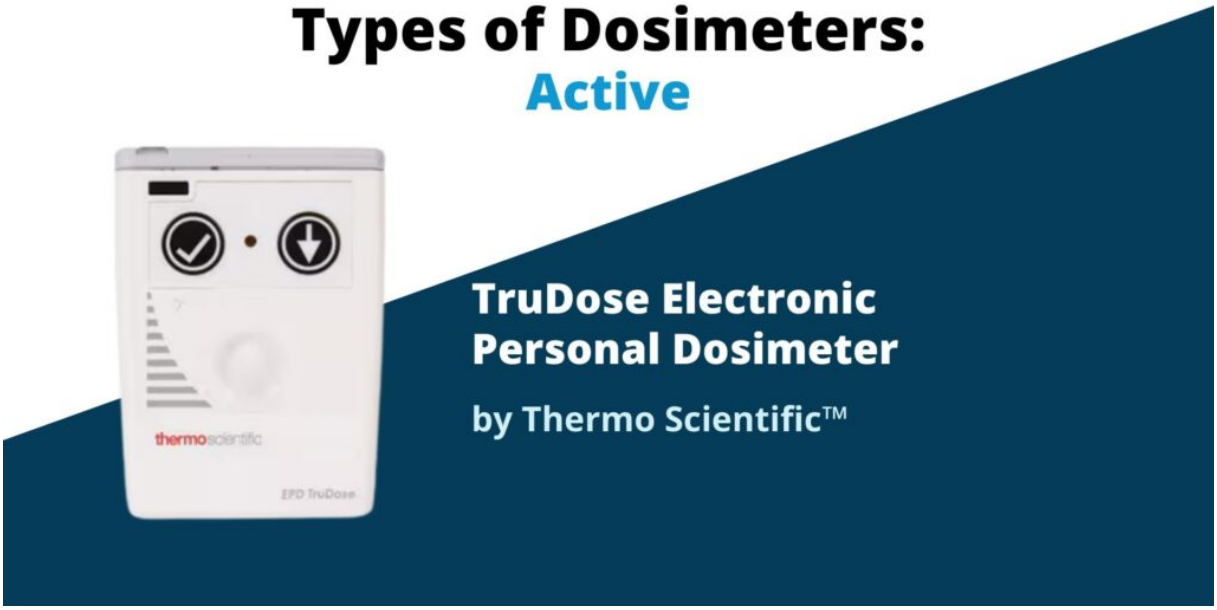


Figura 2 - dosímetro ativo. Fonte: Radiation Detection Co.

Aliado aos dosímetros atuais e sua forma de monitoramento da radiação, detalha-se sobre o uso da nanotecnologia. Essa inovação reside no fato de que esses materiais, geralmente feitos de óxido metálico, apresentam grande relação superfície/volume, aumentando drasticamente a sensibilidade dos detectores, o que confere a eles uma característica fundamental, que é a detecção de doses extremamente baixas que escapam aos limites de detecção dos materiais convencionais. Diante disso, salienta-se que os nanomateriais são importantes para uma fiel

dosagem biológica real, eliminando a necessidade de fatores de correção complexos facilitando a monitorização da radiação biológica (Aboelezz; Pogue, 2023).

Abordando-se ainda sobre a radioterapia moderna, na qual técnicas como a IMRT (Radioterapia de Intensidade Modulada) e radiocirurgia apresentam a dose com grande precisão, a dosimetria pontual (como câmaras de ionização) torna-se insuficiente, encontrando, então, a solução na dosimetria em gel polimérico. Em resumo, estes materiais, ao serem irradiados, sofrem polimerização proporcional à dose absorvida, e, em sua posterior leitura (feita por Ressonância Magnética ou Tomografia Computadorizada Óptica), gera um mapa volumétrico tridimensional referente a distribuição das doses de radiações ionizantes, permitindo ao especialista averiguar o volume de exposição sobre todo o volume corporal e do tumor, enquanto consegue proteger estruturas adjacentes, técnica importante no manejo de tratamentos complexos de determinados pacientes (Kron; Lehmann; Greer, 2016).

Entretanto, em cenários de acidentes radiológicos ou falha dos dispositivos físicos, a técnica de padrão-ouro é a dosimetria biológica, responsável por estimar a dose absorvida. Além dele, outro indicador importante seria o ensaio do dicêntrico (análise de cromossomos com dois centrômeros em linfócitos do sangue periférico), que é considerado o método mais específico e sensível para exposições agudas no corpo inteiro, somado também a outras técnicas, como o ensaio de translocação (útil para exposições passadas ou crônicas), e o ensaio do micronúcleo (fornece uma dosagem mais rápida em incidentes com múltiplas vítimas). Diante desses diversos bioindicadores, é essencial ao médico compreender sobre essas técnicas, sendo elas indispensáveis para a triagem clínica, interpretação e conduta dos pacientes em casos de emergências (Piotrowski et al., 2021).

Destarte, a monitoração da radiação ionizante é composta por um sistema complexo que integra fatores físicos, biológicos e tecnológicos para a aferição e captação dos valores e dosagens de radiação, junto às características individuais de cada tipo de dosímetro e a sensibilidade dos nanomateriais para maior eficiência. Por fim, salienta-se a importância do avanço tecnológico integrado a esse sistema de monitoramento, e o dever do médico em saber interpretar e como realizar as diversas técnicas radiológicas para sua prática e trabalho (Vaz, 2014).

PONTOS CHAVES:

- **Unidades de medida da dosimetria:** A monitoração da radiação exige o controle rigoroso e específico da energia utilizada nesses processos, utilizando unidades de medida como Dose Absorvida (Gy) e Dose Equivalente (Sv), sendo vital para a segurança dos pacientes e profissionais de saúde, além de estabelecer o controle e quantificação da energia utilizada em sua correta faixa e quantidade;
- **Os dispositivos e suas diferenças:** Na prática médica, é fundamental saber a diferença entre os dosímetros passivos (TLD e OSL), que são importantes no registro das doses devido a sua estabilidade, enquanto os dosímetros ativos são fundamentais para a ações imediatas, fornecendo leituras em tempo real que permitem auxiliar o médico em suas condutas a depender do resultado da dosagem.
- **O uso da nanotecnologia:** Com a evolução tecnológica e introdução da nanotecnologia (representada, no contexto da dosagem radiológica, pelos óxidos metálicos), o processo da dosimetria tornou-se mais sensível e preciso. Isso ocorre devido à alta relação superfície/volume desses materiais, sendo capazes de detectar e rastrear doses extremamente baixas, além de apresentar um valor mais próximo do real da dose de radiação.
- **Integração com as redes digitais:** Ainda com a evolução tecnológica, hoje, sensores de radiação estão conectados à redes de internet, transformando a dosimetria em um sistema de monitoramento e controle contínuo e integrado, além da possibilidade de ser administrado remotamente. Apesar das evoluções e da possibilidade de atividades à distância, esse processo não pode substituir a dosagem passiva, mas sim complementar e auxiliar a prática médica.
- **A dosimetria Biológica:** Por fim, em casos de acidentes radiológicos e falhas dos dispositivos físicos, o uso da dosimetria biológica é o padrão-ouro, sendo dever do médico conhecer técnicas como o ensaio do dicêntrico e o ensaio de translocação para exposições agudas e crônicas (respectivamente), essenciais para a avaliação, prognóstico e definição de condutas às vítimas.

DECLARAÇÃO DO AUTOR – USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA
Ferramentas de inteligência artificial generativa (IAG) foram utilizadas exclusivamente como apoio à revisão textual, organização estrutural e padronização da redação deste capítulo, sem substituição da autoria intelectual, da curadoria conceitual ou das decisões técnico-científicas, que permanecem integralmente sob responsabilidade do(s) autor(es).

REFERÊNCIAS

ABOELEZZ, Eslam; POGUE, Brian W. Review of nanomaterial advances for ionizing radiation dosimetry. Applied Physics Reviews, v. 10, n. 2, 021312, 2023.

AHMAD, Muhammad Ikmal et al. Ionizing Radiation Monitoring Technology at the Verge of Internet of Things. Sensors, v. 21, n. 22, p. 7629, 2021.

BATISTA, A. S. M. State-of-the-art techniques in radiation dosimetry – technological segments and applications. Brazilian Journal of Radiation Sciences, v. 9, n. 3, p. 01-25, 2021.

KRON, Tomas; LEHMANN, Joerg; GREER, Peter B. Dosimetry of ionising radiation in modern radiation oncology. Physics in Medicine & Biology, v. 61, n. 14, R167, 2016.

PIOTROWSKI, Igor et al. Use of Biological Dosimetry for Monitoring Medical Workers Occupationally Exposed to Ionizing Radiation. Radiation, v. 1, n. 1, p. 95-115, 2021.

VAZ, Pedro. Radiation protection and dosimetry issues in the medical applications of ionizing radiation. Radiation Physics and Chemistry, v. 98, p. 1-7, 2014.

CAPÍTULO 6 – Efeitos Biológicos da Radiação Ionizante

A compreensão dos efeitos biológicos da radiação ionizante é fundamental para a prática médica, visto que a interação entre essa energia e o corpo humano desencadeia uma série de eventos complexos, iniciando-se pelo estágio físico do processo, que ocorre em um pequeno intervalo de tempo (10-15 segundos), caracterizado pela ionização ou excitação dos átomos que compõem as células. Após isso, ocorre o estágio físico-químico, onde se apresenta a ruptura de ligações químicas e a formação de moléculas reativas, seguido pelo estágio químico, momento em que elas passam a interagir com estruturas celulares vitais. Por fim, no estágio biológico, que pode perdurar por dias ou por anos, as alterações funcionais e morfológicas, como a morte celular ou mutações genéticas, tornam-se clinicamente evidentes (Okuno, 2013).

Outrossim, reitera-se que a ação radioativa contra o tecido vivo pode ser classificada como direta ou indireta, sendo a ação direta feita quando a partícula de radiação atinge estrutura celular fundamental, como o DNA, alterando sua formação, enquanto a ação indireta, ela interage com as moléculas de água causando a radiólise, o que leva a formação de radicais livres hidroxila (OH-) e Peróxido de Hidrogênio (Okuno, 2013). Quanto às suas epidemiologias, a atividade indireta ocorre em maior proporção, representando 70% desses processos, e os outros 30% são da ação direta. Somado a isso, em relação aos radicais livres, esses compostos são quimicamente instáveis, e são responsáveis por gerar diversos danos, especialmente no DNA e nas proteínas das células afetadas (Vasconcelos; Garcia, 2009).

Ademais, os efeitos dessa interação são divididos em determinísticos (ou reações teciduais) e estocásticos. Iniciando pelos efeitos determinísticos, eles se caracterizam pela existência de um limite de dose, que, quando fica abaixo de determinado valor, a lesão não é clinicamente observada. Entretanto, quando esse valor fica acima desse limite, o dano é proporcional a dose elevada utilizada nos procedimentos radiológicos. (Zakariya; Kahn, 2014). Dentre as consequências, elas decorrem da numerosa morte celular provocada, podendo causar eritemas cutâneos, necrose tecidual, esterilidade temporária ou permanente, e, em casos mais graves e críticos, a Síndrome Aguda da Radiação (SAR) (Okuno, 2013). A respeito do quadro sindrômico, ela acontece após a elevada exposição de radiação contra o corpo humano, e manifesta-se principalmente em 3 formas (Vasconcelos; Garcia, 2009; Okuno, 2013):

- Forma hematopoiética: Manifestação inicial mais comum em doses moderadas (> 2 Gy). Ela ocorre devido à aplasia da medula óssea, levando a pancitopenia severa (quadro associado a leucopenia, trombocitopenia e anemia), que facilita o desenvolvimento de hemorragia e infecções graves no corpo.
- Forma gastrointestinal: Ocorre a necrose celular de células criptais (células encontradas nas Criptas de Lieberkuhn, que atuam no revestimento do intestino), levando também a destruição das vilosidades intestinais. Esses eventos estão associados a sintomas como

diarreias, desidratação severa, translocação de bactérias pelo corpo e sepse. Essa forma ocorre em doses um pouco mais elevadas que a anterior (> 6 Gy).

- Forma cerebrovascular: Acontece em exposições muito elevadas, próximas a 20 Gy. Caracteriza-se pela apresentação de dano vascular, que leva a quadros de edema cerebral agudo, convulsões e obstruções severas do sistema circulatório. Pela gravidade desse quadro, apresenta péssimo prognóstico, que pode levar a vítima a óbito em poucos dias.

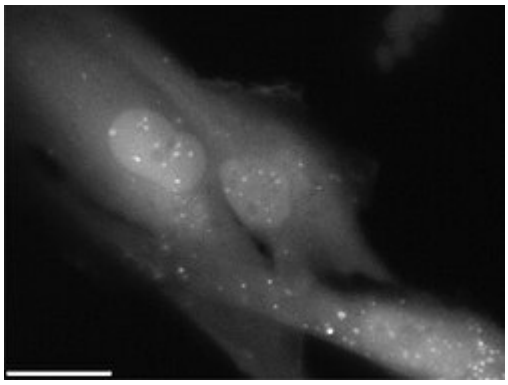


Figura 1 - Imagem de processo de degradação celular por autofagia, causado pela radiação. Fonte - Wikipedia

Em contrapartida, os efeitos estocásticos (ou probabilísticos) ocorrem de uma forma distinta ao supradito. Enquanto o primeiro atua sob elevadas doses de radiação, os estocásticos acontecem mediante as mutações das células afetadas pela radiação, causando modificações genéticas em sua estrutura (Bakar et al., 2019). Ademais, esse fenômeno não apresenta limiar para acontecer, logo qualquer taxa radiação que incida sobre o corpo apresenta forte potencial para provocar alterações celulares, somado ao fato de que a probabilidade desse evento aumenta com a dose de radiação, mas a gravidade e agressividade da consequência não acontece na mesma proporção. Isso significa que um câncer induzido por uma baixa dose de radiação será similar a um câncer causado por uma alta taxa de radiação (Zakaryia; Kahn, 2014). Quanto aos sinais e sintomas decorrentes dessa exposição, eles são divididos, principalmente, em desfechos carcinogênicos (levando a formação de diversos tipos de neoplasias malignas, que podem variar quanto ao tempo de aparecimento no corpo humano) e os desfechos hereditários (ocorre quando os danos radiológicos afetam as células germinativas, ocasionando na transmissão dessas características mutacionadas, o que corrobora para o aparecimento de doenças genéticas e malformações) (Okuno, 2013).

Após a discussão sobre os efeitos das radiações e suas consequências, discute-se sobre as respostas dos tecidos à radiação. De início, já se afirma que as respostas e desfechos teciduais não são uniformes, e seguem princípios de radiossensibilidade celular, historicamente descritos pela Lei de Bergonié e Tribondeau (1906). Essa lei infere que a radiossensibilidade é diretamente proporcional à atividade da mitose nas células, e inversamente proporcional ao grau de diferenciação celular (Vasconcelos; Garcia, 2009). Assim, células com baixa diferenciação e com alta taxa de proliferação, como as da medula óssea, células basais da epiderme e células germinativas, apresentam grande radiossensibilidade, enquanto tecidos altamente diferenciados e com baixa atividade mitótica, como o tecido nervoso e o muscular, são considerados radiorresistentes (Vasconcelos; Garcia, 2009).

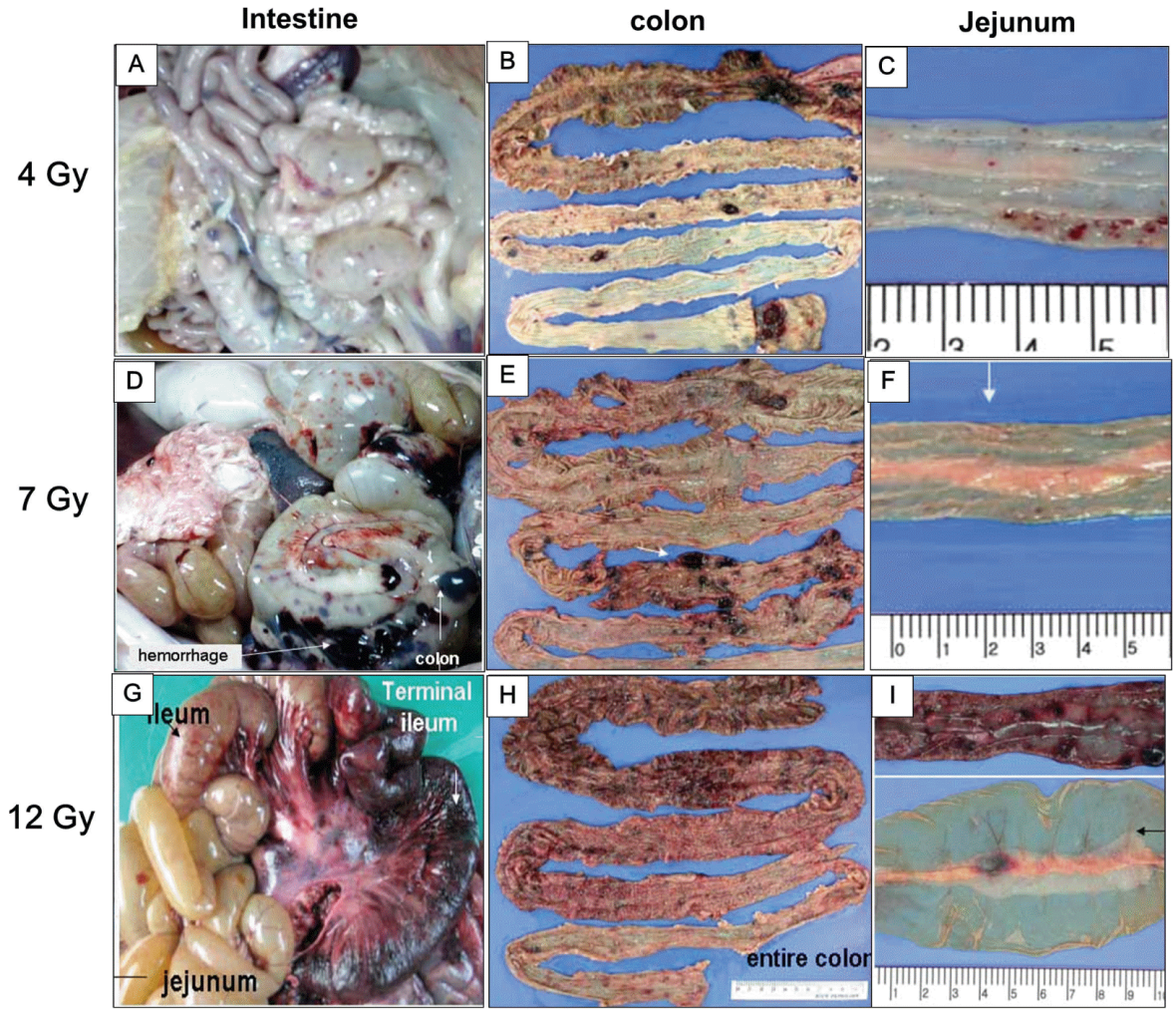


Figura 2 - imagem do Trato Gastrointestinal de vítimas de exposições a radiações e suas quantidades (4, 7 e 12 Gy). Fonte - Journal of Radiation Protection and Research.

Junto às diferenças teciduais referentes à diferenciação celular e atividade mitótica, é reconhecido também a existência de uma radiossensibilidade individual intrínseca, fazendo com que diferentes pacientes com a mesma patologia, submetidos ao mesmo plano terapêutico, podem apresentar reações distintas entre si (Lapierre et al., 2022). Em exemplos, fatores genéticos (como mutações no gene ATM, ataxia-telangiectasia, e a eficiência dos mecanismos de reparo do DNA) desempenham papel crucial nessa variação (Subedi Et al., 2021). Diante disso, novos biomarcadores, como a apoptose induzida por radiação em linfócitos T CD8 (ensaio RILA) e a análise de focos de reparo de DNA (marcador γH2AX) estão sendo validados para prever, individualmente, a toxicidade e danos da radiação, além de modificar positivamente a radioterapia, visando maximizar o controle tumoral e minimizar danos aos tecidos sãos (Lapierre et al., 2022; Subedi et al., 2021).

Outro tópico importante de discussão seria sobre a radiossensibilidade em gestantes, visto que o embrião apresenta alta sensibilidade a energias radioativas, decorrentes de sua intensa proliferação celular. Ademais, ressalta-se que o risco fetal depende do estágio gestacional do embrião no momento de sua exposição (Videira; Nogueira, 2002). Em detalhes, quando a

exposição ocorrer durante a fase pré-implantação (primeiras 2 semanas), momento mais delicado e perigoso dessa exposição, podem ocorrer dois cenários principais: a morte embrionária ou a sobrevivência e recuperação completa sem malformações. Posteriormente, durante a organogênese (2ª à 8ª semana), o risco de malformações congênitas e retardo mental é alto, e, em casos de elevada exposição, podem causar a interrupção da gravidez (Bakar Et Al., 2019; Silva; Aires, 2019).

Por fim, torna-se importante também pontuar a diferença entre exposição aguda e grave. A exposição aguda envolve a absorção de uma dose elevada em um curto período de tempo, que inibe a propriedade de reparo celular, levando frequentemente a efeitos determinísticos e à morte celular (Zakariya; Kahn, 2014). Já a exposição crônica, caracterizada pela incidência de baixas doses em um longo período de tempo, permite a atuação de mecanismos de reparo do DNA e assim reduzem a gravidade de danos celulares e lesões, mas mantendo o risco de efeitos estocásticos a longo prazo, como mutações genéticas e aumento dos riscos de carcinogênese (Dhakal et al., 2021).

Diante disso, ressalta-se a importância da proteção radiológica na prática médica (mencionados e explicados em capítulos anteriores) para a atenuar os efeitos da radiação nas pessoas, especialmente quando se trata de populações mais vulneráveis, somado a importância e reconhecimento de planos terapêuticos individualizados para cada pessoa, e suas individualidades na resposta ao tratamento.

Pontos Chaves:

- **Recapitulando assuntos antigos:** Lembrar sobre os mecanismos de ação direta e indireta, seus mecanismos e epidemiologias em eventos celulares;
- **Efeitos determinísticos:** apresentam limiar de dose; sua gravidade é proporcional à dose recebida;
- **Síndrome Aguda de Radiação (SAR):** Apresenta três manifestações principais e em diferentes graus de perigo, que são a Hematopoiética (incide em doses próximas a 2 Gy), Gastrointestinal (incide em doses próximas a 6 Gy) e cerebrovascular (o mais perigoso e letal, incide em doses próximas a 20 Gy).
- **Estocásticos:** não apresenta limiar de dose; a sua chance de manifestação aumenta com a dose incidida, mas a gravidade da lesão não depende dessa quantidade);
- **Lei de Bergonié e Tribondeau:** a radiossensibilidade é diretamente proporcional a atividade celular e inversamente proporcional a diferenciação (logo, células com alta atividade e baixa diferenciação são extremamente radiosensíveis);
- A radiossensibilidade apresenta respostas diferentes para cada pessoa, sendo um fator individual intrínseco de cada pessoa;
- **Riscos em gestantes:** O embrião é extremamente vulnerável a atividade radioativa, e seus efeitos irão depender, principalmente, do estágio embrionário no momento da exposição;
- **Diferença entre exposição aguda e crônica:** A primeira irá ocorrer com altas doses em um curto período de tempo, e a segunda em um longo período de tempo, mas em baixas doses.

DECLARAÇÃO DO AUTOR – USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA
Ferramentas de inteligência artificial generativa (IAG) foram utilizadas exclusivamente como apoio à revisão textual, organização estrutural e padronização da redação deste capítulo, sem substituição da autoria intelectual, da curadoria conceitual ou das decisões técnico-científicas, que permanecem integralmente sob responsabilidade do(s) autor(es).

REFERÊNCIAS

ABU BAKAR, Nurul Fathihah et al. Effect of ionizing radiation towards human health: a review. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, [s. l.], v. 268, n. 1, p. 012005, 2019.

DHAKAL, Rabin et al. Review of Biological Effects of Acute and Chronic Radiation Exposure on Caenorhabditis elegans. Cells, [s. l.], v. 10, n. 8, p. 1966, ago. 2021.

KIM, C. S. et al. Biological Effects of Low-Dose Ionizing Radiation. Journal of Radiation Protection and Research, [s. l.], v. 40, n. 2, p. 59-67, jun. 2015

LAPIERRE, A. et al. Tumour and normal tissue radiosensitivity. Cancer/Radiothérapie, [s. l.], v. 26, n. 1-2, p. 96-103, fev./abr. 2022.

OKUNO, Emico. Efeitos biológicos das radiações ionizantes: acidente radiológico de Goiânia. Estudos Avançados, São Paulo, v. 27, n. 77, p. 185-200, 2013.

SILVA, Maria de Lourdes; AIRES, Danielle Muniz Pessoa. Os efeitos biológicos da radiação ionizante na gravidez. Revista da Faculdade Evangélica de Ceres, Ceres, [20--].

SÍNDROME aguda da radiação. In: Wikipédia: a enciclopédia livre. [S. l.], 2024. Disponível em: . Acesso em: 21 fev. 2026.

SUBEDI, Prabal et al. Ionizing Radiation Protein Biomarkers in Normal Tissue and Their Correlation to Radiosensitivity: A Systematic Review. Journal of Personalized Medicine, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 140, fev. 2021.

VASCONCELOS, Carla Maria Lins de; GARCIA, Eduardo Antônio Conde. Biofísica para biólogos. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, CESAD, 2009.

VIDEIRA, A. I.; NOGUEIRA, A. Exposição às radiações ionizantes na gravidez: efeitos biológicos no embrião e no feto. Arquivos da Maternidade Dr. Alfredo da Costa, Lisboa, v. 18, n. 2, p. 66-73, dez. 2002.

ZAKARIYA, Nasiru Imam; KAHN, MTE. Benefits and Biological Effects of Ionizing Radiation. Scholars Academic Journal of Biosciences (SAJB), [s. l.], v. 2, n. 9, p. 583-591, 2014.

CAPÍTULO 7 - Práticas seguras em fluoroscopia

A fluoroscopia é um método de exame de imagem que consiste no uso de raios-X para criar imagens em tempo real, permitindo a visualização, em tempo real e de forma dinâmica, de estruturas do corpo humano. Esse processo é amplamente utilizado e muito importante em diversos procedimentos médicos como angiográficos, colocação de stents, e manejos de cirurgias ortopédicas (Rivera et al., 2025). Esse método de imagem utiliza um moderno equipamento, consistindo em tubos de raios-X, que servem para gerar fótons, responsáveis por atravessar o paciente e atingir um intensificador de imagens ou detector plano, convertendo a radiação emitida em uma imagem dinâmica, visível em um monitor (Davros, 2007). Entretanto, embora essas imagens precisas facilitem intervenções médicas, o uso intrínseco de radiação ionizante pode trazer riscos para a saúde da vítima, exigindo um conhecimento dos mecanismos e manejos desse método, e da segurança para a proteção dos profissionais de saúde e dos pacientes expostos a esse método (Rivera et al., 2025).

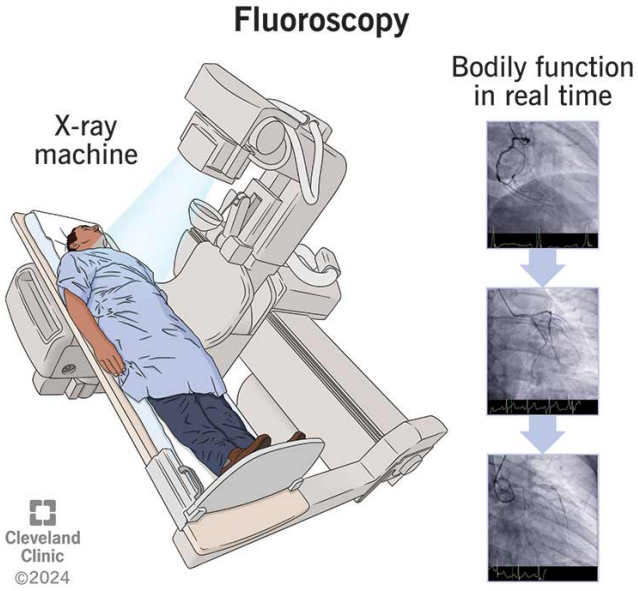


Figura 1 - Imagem do procedimento da fluoroscopia, e seus resultados em tempo real (ao lado direito da ilustração do paciente). Fonte - Cleveland Clinic

Ademais, a respeito dos riscos biológicos da exposição radioativa, infere-se principalmente os efeitos determinísticos e estocásticos, podendo ter, como consequências, sintomas como eritemas na pele e cataratas (exemplos de efeitos determinísticos), além do aumento do risco de carcinogênese (como exemplo de efeitos estocásticos), explicados no capítulo anterior (Kumar, 2008). Junto a isso, foi observado que as interações entre a radiação e o tecido humano ocorrem pelo efeito fotoelétrico, que contribui para o contraste e para formação da imagem dinâmica da fluoroscopia, e pelo Espalhamento Compton, fenômeno referente a perda de energia do fóton,

o que altera a velocidade, direção e comprimento da onda dessa partícula, podendo incidir sobre a equipe médica durante o procedimento em questão, podendo apresentar riscos à saúde (Meisinger et al., 2016).

Figura 2 - Imagem de uma fluoroscopia do intestino de um paciente. Apesar de essa ser uma imagem estática, a fluoroscopia fornece imagens dinâmicas e em tempo real das estruturas anatômicas dos pacientes. Fonte - News Medical.

Diante disso, é necessário haver diversos cuidados a respeito do manejo da fluoroscopia por conta dos possíveis efeitos radioativos. Dentre eles, menciona-se o princípio do ALARA (As Low As Reasonably Achievable), com o intuito de minimizar a exposição radioativa e garantir a integridade dos pacientes e profissionais de saúde, mediante o gerenciamento do tempo (realizar a exposição no menor tempo possível) , distância do aparelho (a intensidade da radiação é inversamente proporcional ao quadrado da distância) e uso de equipamentos de segurança, como os EPIs, além de outros equipamentos responsáveis pela proteção de áreas sensíveis do corpo a exposição radioativa (Kumar, 2008).

Outrossim, é importante que o médico faça a otimização das configurações técnicas do fluoroscópio para o controle correto da dose. Além disso, o uso da fluoroscopia pulsada apresenta maior minimização da exposição radiativa comparada a fluoroscopia contínua, visto que a primeira realiza emissões em curtos intervalos, garantindo a qualidade do diagnóstico do

instrumento (Davros, 2007). Outro recurso também muito importante é a utilização do recurso da "last image hold" (retenção da última imagem), que permite visualização estática de determinada imagem anatômica sem uso ativo de radiação, em taxas de quadros baixas (em torno de 7,5 a 15 quadros por segundo), e deve ser realizado sempre que possível (Frederick-Dyer et al., 2013).

Uma técnica importante no uso do fluoroscópio é a colimação, técnica que restringe os feixes de raios-X apenas a região de interesse, sendo responsável pela redução da dose recebida pelo paciente, além de reduzir significativamente a radiação espalhada para a equipe, e contribui para a qualidade da imagem gerada, pela redução dos ruídos decorrentes do espalhamento Compton (Meisinger et al., 2016). Entretanto, outra técnica utilizada nesse contexto é a ampliação (magnificação) eletrônica ou geométrica, mas o seu uso é mais restrito e cauteloso, visto que tem o intuito de ampliar a imagem gerada pela fluoroscopia, mas também aumenta a emissão de radiação, utilizada para manter uma boa qualidade visual (Nicol; Chung; Benzon, 2015).

Outro fator influente na prática fluoroscópica é o posicionamento da equipe e a geometria do sistema. Nesse contexto, é recomendado, na configuração de arco em C, o posicionamento dos tubos de raios-X abaixo da plataforma onde o paciente está posicionado, enquanto o intensificador de imagem fica posicionado acima dele. Dessa forma, a maior parte da radiação espalhada é direcionada para o chão, reduzindo a exposição de radiação, além de proteger a porção superior do corpo do operador (Nicol; Chung; Benzon, 2015). Junto a essa técnica, também é recomendado o uso de materiais de chumbo na mesa do paciente e nos escudos, que estão suspensos no teto, com o intuito de o impacto radiativo no cristalino e no pescoço do operador em mais de 90% (Meisinger et al., 2016).

Somado aos mencionados, é importante, durante a fluoroscopia, realizar o monitoramento da dose ocupacional com o uso de dosímetros, visando a garantia de que os limites anuais não sejam excedidos. Especialmente, os dosímetros devem ser utilizados na região cervical, com o intuito de estimar a dose no cristalino e na tireoide. Ademais, é ideal a implementação do uso de dois dosímetros (um por dentro e outro por fora do avental), que tem o objetivo de apresentar uma avaliação mais precisa da dose corporal efetiva (Kumar, 2008). Ressalta-se, também, que o limite anual de exposição ocupacional para trabalhadores é de 20 mSv, mas com restrições e limites mais rigorosos para o cristalino, por sua maior sensibilidade a essa exposição (Rivera et al., 2025).

Por fim, é importante abordar que a correta efetividade e implementação dessas técnicas abordadas acima depende da habilidade e conhecimento da equipe médica no ambiente de operação, sendo necessário o devido treinamento eficiente a respeito do aparelho em questão, reduzindo o tempo da fluoroscopia, sem que aconteça o comprometimento da qualidade diagnóstica (Frederick-Dyer et al., 2013).

Em suma, conclui-se que a Fluoroscopia, apesar de ser um exame importante e com grande qualidade visual para exames e análises, apresenta seus riscos e especificidades, devendo haver

a correta educação e manejo para que o procedimento seja feito com a menor taxa possível de emissão radioativa, mas também com uma grande qualidade da imagem gerada.

Pontos chaves:

- Entender a **definição e o mecanismo da fluoroscopia**, sua importância para procedimentos médicos, mas também entendendo seus riscos intrínsecos por conta da radiação (efeitos estocásticos e determinísticos);
- Compreender, de forma clara sobre os conceitos de Espalhamento Compton, Colimação e Magnificação e como elas influenciam na prática da fluoroscopia;
- Entender que a Fluoroscopia Pulsada é mais preferível que a contínua por apresentar uma menor taxa de radiação emitida
- **Last Image Hold:** muito importante para analisar a região anatômica de interesse, sem que ocorra e exposição ativa a radiação;
- Sempre prezar pelas técnicas e conceitos básicos de radioproteção, bem como o "Princípio ALARA", uso de EPIs e o monitoramento ocupacional;
- Em casos de Fluoroscópios de arco em C, recomenda-se que os tubos de raio-x estejam posicionados abaixo da mesa do paciente, protegendo os membros superiores do operador.

DECLARAÇÃO DO AUTOR – USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA
Ferramentas de inteligência artificial generativa (IAG) foram utilizadas exclusivamente como apoio à revisão textual, organização estrutural e padronização da redação deste capítulo, sem substituição da autoria intelectual, da curadoria conceitual ou das decisões técnico-científicas, que permanecem integralmente sob responsabilidade do(s) autor(es).

REFERÊNCIAS

CLEVELAND CLINIC. Fluoroscopy: What It Is, Purpose, Procedure & Results. My.ClevelandClinic.org, 14 abr. 2025. Disponível em: https://my.clevelandclinic.org/health/diagnostics/21992-fluoroscopy#/ Acesso em: 02 mar. 2026.

DAVROS, W. J. Fluoroscopy: basic science, optimal use, and patient/operator protection. Techniques in Regional Anesthesia and Pain Management, v. 11, p. 44-54, 2007.

FREDERICK-DYER, K. C. et al. Online Training on the Safe Use of Fluoroscopy Can Result in a Significant Decrease in Patient Dose. Academic Radiology, v. 20, n. 10, p. 1272-1277, 2013.

KUMAR, P. Radiation safety issues in fluoroscopy during percutaneous nephrolithotomy. Urology Journal, v. 5, n. 1, p. 15-23, 2008.

MEISINGER, Q. C. et al. Radiation Protection for the Fluoroscopy Operator and Staff. AJR American Journal of Roentgenology, v. 207, p. 745-754, 2016.

NEWS-MEDICAL. Fluoroscopy Procedure. News-Medical.net. Disponível em: https://www.news-medical.net/health/Fluoroscopy-Procedure.aspx#/. Acesso em: 02 mar. 2026.

NICOL, A. L.; CHUNG, B. A.; BENZON, H. T. Fluoroscopy and Radiation Safety. In: Essentials of Pain Medicine. Elsevier, 2015. Cap. 77.

RIVERA, K.; AHN, S. S. Radiation Physics and Safety in Fluoroscopy: A Clinician's Guide to Principles and Practice. Cureus, v. 17, n. 7, e87245, 2025.

SAIN, A. et al. Safe Use of Fluoroscopy and Personal Protection Equipment in Trauma & Orthopaedics. Georgian Medical News, n. 344, p. 129-132, 2023.

CAPÍTULO 8 - Proteção de órgãos radiossensíveis

Durante os diversos procedimentos que envolve a exposição radioativa, é essencial planejar, além das demais partes do corpo humano, a proteção a órgãos radiossensíveis, visto que estruturas como o cristalino, a glândula tireoide, as mamas e as gônadas apresentam maior vulnerabilidade a efeitos da radiação ionizante, bem como os efeitos estocásticos e determinísticos, trazendo consequências aos pacientes como cataratas induzidas e aumento da chance de desenvolvimento de neoplasias, o que torna importante a implementação de estratégias de atenuação desse fenômeno para a saúde e bem estar de todos (Kant, 2004; WANG et al., 2021).

Ademais, ainda sobre o cristalino, estrutura localizada no olho e atuante na formação da imagem de objetos, reitera-se que ele é uma das partes mais radiossensíveis do corpo humano, em decorrência de sua localização frequente em áreas de alta exposição e espalhamento durante exames na porção superior do corpo. Junto a isso, vale ressaltar que a é necessária uma baixa quantidade de radiação para a formação de opacidades na região ocular, devendo haver medidas para evitar a exposição direta ou espalhada, com o intuito de atenuar possíveis consequências, como a catarata induzida (Wang et al., 2021).

Diante disso, é essencial o uso de óculos plumbíferos como a principal barreira física, e também apresentar a geometria de exposição que apresente a menor exposição e espalhamento. Outro aspecto importante é a presença de proteções laterais na região ocular, pelo fato da possibilidade de impacto radioativo pelas laterais. Com base nisso, estudos afirmaram que, a partir da implementação das técnicas e dispositivos de segurança mencionados, a redução de dose incidida no cristalino pode chegar a 97%, garantindo uma proteção aumentada a essa região sensível do corpo (Marshall; Faulkner; Clarke, 1992).

Em relação a procedimentos, durante a Tomografia Computadorizada (TC), uma técnica muito importante d eficaz para a radioproteção do cristalino é a inclinação do gantry, arco circular por onde o paciente passa para realizar o exame de imagem em discussão. Isso ocorre pois, quando essa estrutura, é possível excluir os olhos do feixe primário da máquina durante as varreduras cranianas, reduzindo grande parte da dose absorvida sem o uso de artefatos, que podem prejudicar na formação da imagem. Entretanto, quando a técnica da inclinação for possível de realizar, ou não apresente benefícios de radioproteção, torna-se necessário o uso de blindagens para os olhos com o intuito de proteger essas partes do corpo (Kant, 2024).

Outro órgão que apresenta alta radiossensibilidade é a glândula tireoide, principalmente em pessoas mais jovens e profissionais de saúde que apresentam forte exposição ocupacional. Diante disso, uma das principais medidas para atenuar a exposição é o uso de protetores de Tireoide, possuindo alta capacidade de redução de dose absorvida de radiação (Marshall; Faulkner; Clarke, 1992). Diante do exposto, infere-se a importância do uso de equipamentos de

blindagem para essa glândula para a redução da exposição radioativa e da possibilidade de consequências e anomalias a esse órgão.

Outra região importante para se proteger durante os exames são as mamas e as gônadas, principalmente quando se é realizado exames nas regiões torácica e abdominal do paciente. Nesses casos, a estratégia mais recomendada é o uso de equipamentos de proteção, como os aventais de chumbo e protetores gonadais específicos (SOARES; PEREIRA; FLÓR, 2011). Junto a isso, durante os procedimentos de Tomografia Computadorizada (TC), o uso de dispositivos de blindagem feitos de bismuto em mamas apresentou resultados interessantes, mas precisando de cautela e técnica precisa de seu uso para evitar qualquer comprometimento na imagem e na qualidade diagnóstica (Santosa, 2019).

Outrossim, conforme mencionado acima, um material que vem ganhando destaque referente a proteção no corpo contra a exposição radioativa é o bismuto e o látex. Entretanto, um dos principais desafios de seus usos é a possibilidade de gerar artefatos e ruídos durante a formação da imagem, comprometendo a análise e diagnóstico correto a partir de determinados procedimentos (Santos, 2019). Diante disso, uma possibilidade para evitar esses problemas na formação da imagem seria o uso de espaçadores (como espumas), que são capazes de atenuar esses efeitos e preservar a eficiência do aparelho (Kant, 2024).

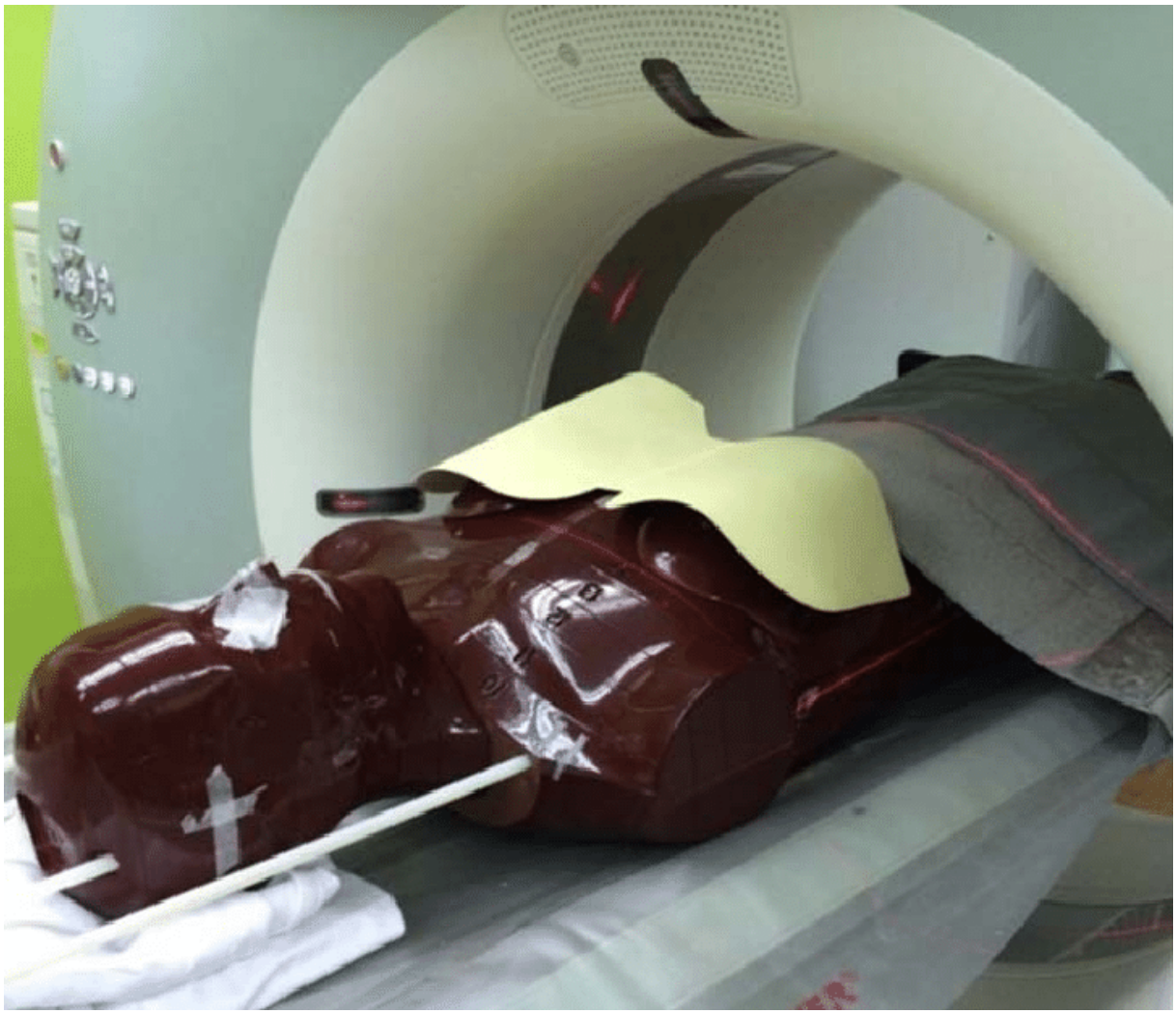


Figura 1 - Exemplo de protetor para mamas feito de Bismuto durante procedimento de Tomografia Computadorizada (TC). Fonte - Karim MKA, Rahim NA, Matsubara K, Hashim S, Mhareb MHA, Musa Y., 2019

Somado a isso, em geral, também é importante salientar que a principal medida frente a esses exames é a utilização das vestimentas de proteção radiológica (VPR), como aventais e protetores, que levar a redução de 99% da dose de exposição ao paciente, segundo a literatura (Soares; Pereira; Flór, 2011). Contudo, ressalta-se que a eficácia prática depende de diversos fatores, como a integridade do material (ausência de rachaduras), a espessura do material, e o uso correto por parte dos profissionais e pacientes, sendo fundamental o manejo correto desses fatores para a completa eficiência das blindagens (Soares; Pereira; Flor, 2011)

Por fim, salienta-se que a proteção a órgãos radiossensíveis é uma combinação de diversos fatores, técnicas e estratégias associadas (como o uso de blindagens específicas, inclinação do gantry e baixas taxas de quadros), cujo principal objetivo é a proteção efetiva dessas estruturas mais vulneráveis do corpo humano, servindo para atenuar sua exposição exagerada e atenuando o aparecimento de possíveis complicações.

Pontos Chave:

- Órgãos como cristalino, tireoide, mamas e gônadas apresentam **alta vulnerabilidade a radiação**, necessitando a proteção específica para prevenir efeitos determinísticos e estocásticos;
- Quanto ao **cristalino**, é essencial utilizar a proteção de óculos plumbíferos com blindagens laterais, evitando o espalhamento da radiação e reduzindo a dose em até 97%;
- Relembrar as **técnicas de manejo da Tomografia Computadorizada**, como a inclinação do Gantry, que é a técnica preferencial em varreduras cranianas para excluir os olhos do feixe primário. Entretanto, quando não puder se feito, deve-se recorrer a blindagens oculares externas;
- **Blindagens de Bismuto** são eficazes para proteção de olhos e mamas, mas devem ter cuidados para não gerar ruídos na imagem, sendo uma alternativa o uso de espaçadores (como espumas) entre a pele e a blindagem;
- Relembrar a importância de sempre utilizar **vestimentas adequadas** para a proteção radiológica do paciente, tendo o potencial de reduzir a exposição em até 99%, porém sua blindagem depende de detalhes como a qualidade da proteção, o material, e também de sua espessura.

DECLARAÇÃO DO AUTOR – USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA
Ferramentas de inteligência artificial generativa (IAG) foram utilizadas exclusivamente como

apoio à revisão textual, organização estrutural e padronização da redação deste capítulo, sem substituição da autoria intelectual, da curadoria conceitual ou das decisões técnico-científicas, que permanecem integralmente sob responsabilidade do(s) autor(es).

REFERÊNCIAS

KANT, P. Protection of Radiosensitive Organs with Diagnosable Image: Maximizing Radiation Protection for Radiosensitive Organs during CT. International Journal of Innovative Science and Research Technology, v. 9, n. 5, 2024.

Karim MKA, Rahim NA, Matsubara K, Hashim S, Mhareb MHA, Musa Y. The effectiveness of bismuth breast shielding with protocol optimization in CT Thorax examination. J Xray Sci Technol. 2019;27(1):139-147. doi: 10.3233/XST-180397. PMID: 30584178. (IMAGEM)

MARSHALL, N. W.; FAULKNER, K.; CLARKE, P. An investigation into the effect of protective devices on the dose to radiosensitive organs in the head and neck. The British Journal of Radiology, v. 65, p. 799-802, 1992.

MOURA, R.; BACCHIM NETO, F. A. Proteção radiológica aplicada à radiologia intervencionista. Jornal Vascular Brasileiro, v. 10, n. 3, 2011.

SANTOS, F. S. Dosimetria em varreduras de tomografia computadorizada de cabeça e pescoço: uso de blindagem de bismuto de órgãos sensíveis. 2019. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

SOARES, F. A. P.; PEREIRA, A. G.; FLÓR, R. C. Utilização de vestimentas de proteção radiológica para redução de dose absorvida: uma revisão integrativa da literatura. Radiologia Brasileira, v. 44, n. 2, 2011.

WANG, W. H. et al. Radiation Reduction and Protection for Radiosensitive Organs (Lens, Thyroid, and Genital Organs) of Patients Receiving Percutaneous Coronary Intervention—Real-World Measurement of Radiation Dose in a Single Center. Journal of Cardiovascular Development and Disease, v. 8, n. 99, 2021.

CAPÍTULO 9 - O anestesiologista e a radiação ionizante

Cuidados, cultura de segurança e orientações práticas

A prática anestésica contemporânea extrapola os limites do centro cirúrgico convencional e se insere, de maneira crescente, em ambientes como hemodinâmica, radiologia intervencionista, centro cirúrgico ortopédico com arco em C, salas híbridas e unidades de terapia intensiva. Essa expansão ampliou também a exposição ocupacional do anestesiologista à radiação ionizante, especialmente à radiação proveniente da fluoroscopia.

Embora tradicionalmente a atenção à radioproteção esteja associada ao médico intervencionista, o anestesiologista frequentemente permanece em posição próxima ao paciente — principal fonte de radiação espalhada — durante períodos prolongados. Estudos recentes demonstram que profissionais não radiologistas, incluindo anestesiologistas, apresentam lacunas significativas no conhecimento sobre riscos ocupacionais, limites de dose e medidas adequadas de proteção, reforçando a necessidade de educação continuada e fortalecimento institucional da cultura de segurança (Marinelli Et Al., 2019; Iaea, 2018).

FATORES QUE INFLUENCIAM A DOSE OCUPACIONAL

A dose recebida pelo anestesiologista depende do tempo de exposição, da proximidade do paciente, do tipo de fluoroscopia utilizada, do posicionamento do arco em C, da duração do procedimento e do uso adequado de barreiras de proteção. O princípio clássico da radioproteção baseia-se em três pilares fundamentais: tempo, distância e blindagem.

O tempo de permanência próximo ao campo irradiado deve ser reduzido sempre que possível. A distância é fator determinante, considerando a Lei do Inverso do Quadrado, segundo a qual a intensidade da radiação diminui proporcionalmente ao quadrado da distância. A blindagem envolve o uso de barreiras estruturais e equipamentos de proteção individual adequados.

EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL

O uso sistemático de avental plumbífero com equivalência mínima de 0,5 mm de chumbo, protetor de tireoide, óculos plumbíferos e barreiras móveis é indispensável. A redução recente do limite ocupacional para cristalino, conforme ICRP Publication 118, reforça a importância da proteção ocular.

Além do uso correto, é imprescindível a inspeção periódica dos aventais e protetores, garantindo sua integridade estrutural. Fissuras ou falhas na blindagem podem comprometer significativamente a eficácia da proteção.

DOSIMETRIA E MONITORAMENTO

O monitoramento individual por dosímetro é obrigatório para profissionais expostos à radiação ionizante. O dispositivo deve ser utilizado na altura do tórax, por fora do avental, e analisado periodicamente. O princípio ALARA (As Low As Reasonably Achievable) orienta que a exposição deve ser mantida tão baixa quanto razoavelmente possível, não se limitando ao cumprimento de valores legais, mas à otimização contínua da proteção.

CULTURA DE SEGURANÇA EM RADIOPROTEÇÃO

A cultura de segurança constitui o elemento central da proteção radiológica eficaz. Ela envolve valores, atitudes e comportamentos que priorizam a prevenção de riscos acima de conveniências operacionais. No contexto anestésico, essa cultura deve ser ativa, multiprofissional e institucionalmente sustentada.

A comunicação verbal antes da emissão de radiação, o planejamento prévio do posicionamento da equipe, a presença de barreiras móveis, a realização de treinamentos periódicos obrigatórios e a inclusão da radioproteção nos checklists de segurança são medidas essenciais. A liderança do anestesiologista é estratégica, pois sua visão global do ambiente permite identificar falhas no uso de proteção e corrigir condutas inseguras.

Estudos demonstram que parte dos anestesiologistas desconhece limites de dose ocupacional e riscos cumulativos da exposição crônica (Marinelli et al., 2019). Essa lacuna formativa pode levar à naturalização da exposição, frequentemente expressa por frases como “é rápido” ou “é apenas um disparo”. Pequenas exposições repetidas ao longo de décadas configuram risco cumulativo relevante.

A consolidação da cultura de segurança exige compromisso institucional, fornecimento adequado de equipamentos, monitoramento sistemático das doses ocupacionais e estímulo à notificação de eventos sem caráter punitivo. A segurança deve ser antecipada e planejada, e não apenas reativa.

SITUAÇÕES ESPECIAIS

Em hemodinâmica e radiologia intervencionista, procedimentos prolongados aumentam significativamente a dose acumulada. Na ortopedia com arco em C, disparos repetitivos podem gerar subestimação do risco. A atuação da anestesiologista gestante é possível mediante monitoramento rigoroso e reforço das medidas de proteção.

Pontos Chave:

- A radiação ionizante integra a prática anestésica moderna em diversos cenários assistenciais e impõe responsabilidade técnica e ética quanto à autoproteção;
- A vulnerabilidade do anestesiologista decorre não apenas da proximidade física ao paciente, mas também, em muitos casos, do conhecimento insuficiente sobre riscos ocupacionais;
- A aplicação rigorosa dos princípios de tempo, distância e blindagem, o uso adequado de EPI, o monitoramento por dosimetria e o fortalecimento da cultura institucional de segurança são fundamentais para preservar a saúde ocupacional e garantir longevidade profissional a longo prazo.

DECLARAÇÃO DO AUTOR – USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA
Ferramentas de inteligência artificial generativa (IAG) foram utilizadas exclusivamente como apoio à revisão textual, organização estrutural e padronização da redação deste capítulo, sem substituição da autoria intelectual, da curadoria conceitual ou das decisões técnico-científicas, que permanecem integralmente sob responsabilidade do(s) autor(es).

REFERÊNCIAS

ALI, A. et al. Radiation protection compliance in fluoroscopy-assisted procedures: a prospective audit in operating theatres. **Cureus**, v. 17, n. 1, e439814, 2025.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). **Radiation protection of staff in interventional procedures.** Vienna: IAEA, 2018.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP). ICRP statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs. ICRP Publication 118. Annals of the ICRP, 2012.

MARINELLI, M. et al. **Knowledge and awareness of radiation protection among anesthesia personnel: a multicenter survey**. Anesthesia & Analgesia, 2019.

JARAMILLO-GARZÓN, W. et al. **Occupational radiation exposure in anesthesia for hepatic chemoembolization procedures**. Revista Colombiana de Anestesiología, v. 51, n. 2, 2023.

LANFREDI, M. P. et al. Occupational dose evaluation during urological fluoroscopy procedures. **Revista Brasileira de Física Médica**, v. 11, n. 1, p. 1-8, 2017.

LESYUK, O. et al. Evaluation of scattered radiation dose during fluoroscopic procedures. **Radiologia Brasileira**, v. 49, n. 6, p. 367-372, 2016.

LVA, F. P. et al. Avaliação da exposição ocupacional à radiação ionizante em equipe cirúrgica. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 5, p. 1-12, 2021.

LALABEKYAN, B. et al. **Principles of radiation safety for anaesthetists**. BJA Education, v. 25, n. 1, p. 1-8, 2025.SILVA, F. C. da. Educação permanente em proteção radiológica no setor de radiologia. São Paulo: Universidade Federal de São Paulo, 2023.

MARINELLI, M. et al. **Knowledge and awareness of radiation protection among anesthesia personnel: a multicenter survey**. Anesthesia & Analgesia, 2019.

OKRAKU-YIRENKYI, N. K. et al. **Occupational radiation risk stratification and protection in healthcare workers**. Journal of Personalized Medicine, v. 16, n. 1, p. 50, 2026.

SANTOS, R. F. et al. Implicações da radiação ionizante na saúde dos profissionais que utilizam arco cirúrgico. **Brazilian Journal of Development**, v. 9, n. 1, p. 1-15, 2023.

SHBEER, A. et al. **Assessment of occupational radiation exposure of anesthesia staff in interventional cardiology**. Journal of Radiation Research and Applied Sciences, v. 17, n. 2, p. 1-9, 2024.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Radiation risk communication in medicine.** Geneva: WHO, 2021.

CAPÍTULO 10 - Radiação Ionizante na Prática Ortopédica: Fundamentos e Segurança

A utilização da radiação ionizante na prática ortopédica contemporânea representa um paradoxo tecnológico, onde a precisão diagnóstica e a eficácia cirúrgica caminham lado a lado com riscos ocupacionais significativos. Historicamente, esse campo foi inaugurado pela descoberta dos Raios X por Wilhelm Conrad Roentgen em 1895, fenômeno que se diferencia das radiações não ionizantes por possuir energia suficiente para remover elétrons dos átomos, criando íons e desencadeando processos biológicos complexos (Salvador et al., 2018; Pino; Giovedi, 2005). Essas radiações são classificadas em eletromagnéticas, como os raios X e gama, e corpusculares, como as partículas alfa, beta e nêutrons, sendo que a periculosidade biológica é frequentemente determinada pela Transferência Linear de Energia (LET), que mede a densidade da ionização ao longo do trajeto da partícula (Goldman, 1982; Kharisov; Kharissova, 2012).

O impacto da radiação no organismo humano ocorre em estágios sequenciais, iniciando-se pelo estágio físico, que dura cerca de segundos e envolve a ionização de átomos, seguido pelo físico-químico, onde ocorrem quebras de ligações, e pelo químico, caracterizado pela formação de moléculas reativas (Okuno; Yoshimura, 2010). O estágio biológico, que pode perdurar por dias ou anos, é o momento em que as alterações morfológicas e funcionais se tornam clinicamente evidentes. O dano celular pode ocorrer por ação direta, quando a radiação atinge moléculas vitais como o DNA, ou por ação indireta, que representa cerca de 70% dos eventos e envolve a radiólise da água para criar radicais livres e peróxido de hidrogênio (Curtis, 2002; Okuno, 2013). A suscetibilidade dos tecidos a esses danos é regida pela Lei de Bergonié e Tribondeau, que estabelece que células com alta taxa de mitose e baixa diferenciação, como as da medula óssea e gônadas, são as mais radiossensíveis (Vasconcelos; Garcia, 2009; Bergonié, 1959).

Clinicamente, os efeitos são categorizados em determinísticos (ou reações teciduais) e estocásticos (probabilísticos). Os efeitos determinísticos, como a catarata radioinduzida, eritemas e a Síndrome Aguda da Radiação (SAR), possuem um limiar de dose abaixo do qual o dano não ocorre, mas sua gravidade aumenta proporcionalmente à exposição excedente (Zakaryia; Kahn, 2014; Mendonça et al., 2019). Já os efeitos estocásticos, como o câncer (neoplasias) e mutações genéticas, não possuem limiar; a probabilidade de sua ocorrência aumenta com a dose, mas a gravidade do efeito final independe da quantidade de radiação recebida (Okuno, 2013; Tauhata et al., 2014). Na ortopedia, o uso frequente da fluoroscopia para visualização dinâmica em tempo real expõe a equipe cirúrgica a esses riscos, tornando imperativo o domínio das normas de proteção radiológica ditadas pela CNEN e ANVISA, como a RDC 611/2022 (Mendonça et al., 2019; Brasil, 2022).

A base da segurança operacional repousa nos pilares da Justificação, Otimização (Princípio ALARA) e Limitação de Dose. O princípio ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*) prega que a exposição deve ser mantida tão baixa quanto razoavelmente exequível, utilizando três fatores fundamentais: tempo, distância e blindagem (Haramita, 2011; Do, 2016; ICRP, 2007). A distância é considerada a medida mais eficaz e barata, pois a intensidade da radiação diminui com o inverso do quadrado da distância; por exemplo, a apenas 50 cm do feixe primário, a dose cai para cerca de 0,1% do valor original (Santos, 2013; Strom, 2017). No que tange à blindagem, as Vestimentas de Proteção Radiológica (VPR) são indispensáveis, com aventais de chumbo e protetores de tireoide sendo capazes de reduzir a exposição em até 90% e 67%, respectivamente (Soares et al., 2011; Lakhwani et al., 2018).

O posicionamento geométrico do equipamento, especialmente do Arco em C, é um fator crítico muitas vezes negligenciado. Recomenda-se que o tubo de raios X seja posicionado abaixo da mesa do paciente e o intensificador de imagem acima, o que direciona a maior parte da radiação espalhada (*scatter radiation*) para o chão, protegendo a parte superior do corpo do cirurgião (Nicol et al., 2015; Meisinger et al., 2016). Técnicas como a fluoroscopia pulsada, que emite radiação em curtos intervalos, e o uso do recurso *last image hold* (retenção da última imagem) são cruciais para otimizar a dose sem comprometer a qualidade diagnóstica (Davros, 2007; Frederick-Dyer et al., 2013). Além disso, a colimação adequada do feixe restringe a radiação apenas à área de interesse clínico, reduzindo o espalhamento para a equipe (Meisinger et al., 2016; Rivera; Ahn, 2025).

A monitoração individual por meio de dosímetros (como TLD ou OSL) é obrigatória e deve ser realizada mensalmente para garantir que o Indivíduo Ocupacionalmente Exposto (IOE) não exceda o limite de 20 mSv anuais (média em 5 anos). O uso correto do dosímetro — posicionado sob o avental plumbífero no nível do tórax — é vital para uma estimativa fiel da dose efetiva, embora estudos indiquem que o uso irregular prejudica a medição, podendo elevar a dose efetiva detectada em quase 300% quando a monitoração é feita adequadamente (De Melo et al., 2014). Inovações como a dosimetria ativa eletrônica oferecem a vantagem de fornecer leituras em tempo real e alertas sonoros durante cirurgias complexas.

Estudos qualitativos e quantitativos realizados em centros de trauma revelam cenários de risco elevado para residentes e especialistas. Durante cirurgias de quadril (DHS), residentes podem receber em apenas seis meses cerca de um quarto da dose anual máxima permitida apenas realizando esse procedimento específico (Palácio et al., 2014; Nunes, 2022). Além disso, a mão dominante do cirurgião é frequentemente a área de maior exposição por estar mais próxima ao feixe primário durante a manipulação de instrumentais (Mahajan et al., 2015; Smith et al., 1992). A carência de treinamento formal é alarmante: dados indicam que mais de 80% dos ortopedistas brasileiros nunca receberam instrução específica sobre radioproteção, o que contribui para o uso irregular de EPIs e o desconhecimento de princípios básicos como a natureza dos raios X emitidos (Barbosa; Silva, 2022; Pires et al., 2020).

Consequentemente, a proteção de órgãos altamente radiossensíveis como o cristalino (olhos), a tireoide e as mamas devem ser priorizadas. O cristalino é particularmente vulnerável a baixas doses, podendo desenvolver opacidades e catarata com o tempo; o uso de óculos plumbíferos com proteção lateral pode reduzir a dose incidente no olho em até 97% (Wang et al., 2021; Marshall et al., 1992). Da mesma forma, em cirurgiãs ortopédicas, a prevalência de câncer de mama tem sido associada à exposição intraoperatória cumulativa, especialmente em projeções laterais do arco em C, sugerindo a necessidade de aventais com tamanho adequado que cubram a região axilar (Valone et al., 2016; Mastrangelo et al., 2005).

Em suma, a garantia de um ambiente cirúrgico seguro e a mitigação dos riscos ocupacionais dependem da consolidação de uma cultura de segurança institucional genuína, que transcenda a mera conformidade burocrática e se torne um valor compartilhado por toda a equipe (Marinelli et al., 2019; Ploussi; Efstathopoulos, 2016). Esta cultura deve ser ativa, multiprofissional e sustentada por atitudes que priorizam a prevenção de danos biológicos — tanto estocásticos quanto determinísticos — acima de conveniências operacionais imediatas, combatendo a naturalização da exposição frequentemente expressa por condutas negligentes no centro cirúrgico (Marinelli et al., 2019; Zakariya; Kahn, 2014).

A implementação de programas de educação permanente, conforme estabelecido pela RDC 611/2022, revela-se como o pilar fundamental para sanar a alarmante lacuna de conhecimento identificada entre os ortopedistas, permitindo que o domínio técnico da fluoroscopia resulte em disparos conscientes, colimação adequada e posicionamento geométrico otimizado (Barbosa; Silva, 2022; Brasil, 2022; Frederick-Dyer et al., 2013). Além disso, o compromisso institucional deve garantir não apenas o fornecimento de EPIs de alta qualidade e integridade preservada, mas também a monitoração dosimétrica rigorosa, essencial para que o princípio ALARA deixe de ser um conceito teórico e se torne uma prática mensurável de proteção à saúde (Nunes, 2022; Silva et al., 2022).

Portanto, a segurança radiológica na ortopedia moderna exige uma sinergia entre o avanço tecnológico, o rigor normativo e o fator humano (Gomes; Pinhal Júnior, 2015; Vaz, 2014). Somente através da integração da radioproteção aos protocolos clínicos e aos *checklists* de segurança será possível assegurar a longevidade da carreira do cirurgião, a integridade da equipe multidisciplinar e a excelência contínua no cuidado prestado ao paciente (Marinelli et al., 2019; Omoruyi et al., 2023).

PONTOS CHAVES:

- A fluoroscopia é essencial na ortopedia moderna, porém aumenta a exposição ocupacional à radiação ionizante.
- Os principais efeitos biológicos da radiação podem ser determinísticos ou estocásticos.
- O princípio ALARA baseia-se em reduzir tempo de exposição, aumentar distância e utilizar blindagem adequada.
- O posicionamento correto do arco em C e a colimação adequada reduzem significativamente a radiação espalhada.
- Aventais plumbíferos, protetores de tireoide e óculos plumbíferos são fundamentais para proteção da equipe.
- A monitoração dosimétrica é indispensável para controle da exposição ocupacional.
- A deficiência de treinamento em radioproteção ainda representa um importante problema entre ortopedistas.
- Educação permanente e cultura institucional de segurança são essenciais para minimizar riscos ocupacionais.

DECLARAÇÃO DO AUTOR – USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA
Ferramentas de inteligência artificial generativa (IAG) foram utilizadas exclusivamente como apoio à revisão textual, organização estrutural e padronização da redação deste capítulo, sem substituição da autoria intelectual, da curadoria conceitual ou das decisões técnico-científicas, que permanecem integralmente sob responsabilidade do(s) autor(es).

REFERÊNCIAS

BARBOSA, H. B.; SILVA, A. M. M. D. Perception of Orthopedics Surgeons about the Risks of Radiation Exposure in Fluoroscopy. Revista Brasileira de Ortopedia, v. 57, n. 4, p. 546-551, 2022.

BATISTA, A. S. M. State-of-the-art techniques in radiation dosimetry – technological segments and applications. Brazilian Journal of Radiation Sciences, v. 9, n. 3, p. 01-25, 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 611, de 09 de março de 2022. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 mar. 2022.

BRASIL. Norma CNEN NN 3.01: Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica. Brasília: Comissão Nacional de Energia Nuclear, 2024.

CARDOSO, N. A.; ROCHA, R. R.; LAURINDO, M. V. (Org.). A Produção do Conhecimento na Engenharia Biomédica. Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019.

COUTINHO, E. R. S. Estudo de dose ocupacional de radiação em cirurgias ortopédicas. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física Médica) – Instituto de Física, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2024.

DE ARMOND, L. et al. (Org.). Radiação Ionizante: Fundamentos e Segurança na Prática Clínica - Guia para Residentes. Manaus: Fundação Hospital Adriano Jorge, 2026.

MAHAJAN, A. et al. Occupational Radiation Exposure from C Arm Fluoroscopy During Common Orthopaedic Surgical Procedures and its Prevention. Journal of Clinical and Diagnostic Research, v. 9, n. 3, p. 1-4, 2015.

MENDONÇA, C. J. A.; BARROS, F. S.; SCHNEIDER JÚNIOR, B. Exposição à radiação ionizante em cirurgias ortopédicas. Brazilian Journal of Health Review, v. 2, n. 2, p. 1471-1482, 2019.

NUNES, A. A. Avaliação da exposição ocupacional às radiações ionizantes no serviço de ortopedia do Hospital Regional de Araguaína (HRA). 2022. 83 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/USP, São Paulo, 2022.

PALÁCIO, E. P. et al. Exposição da equipe cirúrgica à radiação ionizante durante procedimentos cirúrgicos ortopédicos. **Revista Brasileira de Ortopedia**, v. 49, n. 3, p. 227-232, 2014.

STROM, D. J. Ten Principles and Ten Commandments of Radiation Protection. **Health Physics**, v. 112, n. 1, p. 1-20, 2017.

@editorapoisson

www.poisson.com.br
contato@poisson.com.br

https://www.facebook.com/editorapoisson